



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA

**DETECCIÓN DE GAS RADÓN (^{222}Rn) EN LAS UNIDADES EDUCATIVAS DE
NIVEL SUPERIOR DEL DISTRITO DE EDUCACIÓN 06D01 CHAMBO-
RIOBAMBA CON INFRAESTRUCTURA ANTIGUA DE LA CIUDAD DE
RIOBAMBA**

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: TRABAJO EXPERIMENTAL

Presentado para optar al grado académico de:

BIOFÍSICA

AUTORA: CATY LORENA SANTILLÁN ESTRELLA

TUTORA: BIOF. TALIA TENE FERNANDEZ, Ph.D

RIOBAMBA-ECUADOR

2018

@2018, Caty Lorena Santillán Estrella

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE FÍSICA Y MATEMÁTICA
CARRERA: BIOFÍSICA

El tribunal de titulación certifica que el trabajo experimental: **“DETECCIÓN DE GAS RADÓN (^{222}Rn) EN LAS UNIDADES EDUCATIVAS DE NIVEL SUPERIOR DEL DISTRITO DE EDUCACIÓN 06D01 CHAMBO-RIOBAMBA CON INFRAESTRUCTURA ANTIGUA DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA”**, de responsabilidad de la Señorita Caty Lorena Santillán Estrella, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Titulación, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Biof. Rosa Maricela Ormaza Hugo Msc

PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

Biof. Talia Beatriz Tene Fernández PhD

DIRECTORA DE TESIS

Dra. Jenny del Carmen Orbe Ordoñez

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Yo, Santillán Estrella Caty Lorena soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

CATY LORENA SANTILLÁN ESTRELLA

DEDICATORIA

Dedico éste trabajo a mis padres por su paciencia, amor y apoyo incondicional ya que ellos han sido el pilar e inspiración fundamental de mi vida en los buenos y malos momentos son de esos amores que van mucho más allá de nuestro entendimiento, entrega completa. Sus sacrificios por las ganas de salir adelante, de no rendirse, afecto, incentivo y cariño son mi fuente de felicidad, de mi esfuerzo y de mis ganas de buscar lo mejor para que ustedes se sientan orgullosos.

Son la principal motivación para concluir con éxito éste proyecto de Tesis.

Gracias, Papis

AGRADECIMIENTO

A mis padres por su apoyo, sacrificio e incentivo para entrar en el camino del conocimiento.

A mis maestros de la ESPOCH por todo el conocimiento brindado durante estos años.

Un Agradecimiento muy especial a la Biof. Talia Tene Ph.D por encaminarme en el desarrollo de ésta investigación y a la Dra. Jenny Orbe por apoyarme en la etapa más difícil del transcurso de mi carrera hasta el final con la culminación de mi tesis.

A mis tutores de prácticas pre-profesionales de la USFQ y EPN, a mis amigos, amigas en especial a Mario por ser más que mi amigo mi apoyo, mi cómplice de generación de soluciones en problemas que se han generado, compañero de aventuras y a todas aquellas personas que de una u otra manera me apoyaron.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	xvii
SUMARY	xviii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO REFERENCIAL	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema	4
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos	5
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Generalidades del Rn.....	7
2.1.3 Mecanismo de producción de radón	12
2.1.5. Mecanismo de transporte.....	13
2.2 Fuentes y niveles de exposición al radón.....	14
2.3. Técnicas de Medida de radón en aire.....	21
2.5. Descripción del área de estudio	23
CAPÍTULO III	
3. METODOLOGÍA.....	38
3.1. Identificación y clasificación de las unidades Educativas de la ciudad de Riobamba.....	38
3.2. Criterios de selección para el lugar de muestreo	38
3.3. Monitoreo.....	38
3.4. Obtención de Datos.....	39
3.5. Cálculo de dosis efectiva anual por inhalación de radón.....	39
3.6. Elaboración del Mapa de Dosis	39

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	40
4.1. Identificación y clasificación de los resultados.....	40
4.2. Concentración del gas radón (^{222}Rn).....	42
4.3. Variación de la Concentración gas radón (^{222}Rn).....	44
4.4. Tabla de la dosis efectiva anual por inhalación de radón (^{222}Rn).....	69
 CONCLUSIONES.....	 72-73
RECOMENDACIONES.....	74
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Propiedades Químicas del ^{222}Rn	8
Tabla 2-2: Propiedades relevantes del ^{222}Rn , ^{220}Rn y ^{219}Rn	10
Tabla 3-2: Propiedades relevantes de los PDR.....	11
Tabla 4-2: Características del equipo ALPHA E.....	23
Tabla 1-4: Características físicas de las Unidades Educativas Distrito Chambo-Riobamba con infraestructura antigua.....	40
Tabla 2-4: Características físicas de las Unidades Educativas Distrito Chambo-Riobamba con infraestructura moderna.	42
Tabla 3-4: Concentración media del radón en las Unidades Educativas del Distrito Chambo-Riobamba con infraestructura antigua.....	43
Tabla 4-4: Concentración media del radón en las Unidades Educativas del Distrito Chambo-Riobamba con infraestructura moderna.....	44
Tabla 5-4: Dosis efectiva anual por inhalación de radón (^{222}Rn) de las UE de infraestructura antigua Distrito Chambo-Riobamba.....	69-70
Tabla 6-4: Dosis efectiva anual por inhalación de radón (^{222}Rn) de las UE de infraestructura moderna Distrito Chambo-Riobamba.....	70-71

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Cadenas de decaimiento radiactivo natural: ^{238}U , ^{235}U y ^{232}Th	9
Figura 2-2: Esquema de decaimiento del radón.....	12
Figura 3-2: Representación de la difusión unidimensional del radón entre dos regiones con diferente densidad.....	14
Figura 4-2: Fuentes de Radón y vías de exposición por inhalación a la radiación.....	21
Figura 5-2: Funcionamiento y elementos de control del ALPHA-E.....	22

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1-2: UE San Felipe Neri-TEATRO.....	24
Fotografía 2-2: UE La Providencia-TEATRO.....	24
Fotografía 3-2: UE Santa Mariana de Jesús, TEATRO.....	25
Fotografía 4-2: UE San Vicente de Paúl, TEATRO.....	25
Fotografía 5-2: UE La Salle, AULA.....	26
Fotografía 6-2: UE Pedro Vicente Maldonado, SALÓN.....	26
Fotografía 7-2: UE Carlos Cisneros, SALÓN DE COMPUTO.....	27
Fotografía 8-2: UE Juan de Velazco, AUDITORIO.....	27
Fotografía 9-2: UE Riobamba, COLISEO.....	28
Fotografía 10-2: UE Isabel de Godín, AULA MÚLTIPLE.....	28
Fotografía 11-2: UE Nuestra Señora de Fátima, TEATRO.....	29
Fotografía 12-2: UE Miguel Ángel León Pontón, DECE.....	29
Fotografía 13-2: Capitán Edmundo Chiriboga, AULA.....	30
Fotografía 14-2: UE Jhon F. Kennedy, INSPECCIÓN.....	30
Fotografía 15-2: UE Fernando Daquilema, AULA.....	31
Fotografía 16-2: UE Amelia Gallegos, RECTORADO.....	32
Fotografía 17-2: UE Licto, RECTORADO.....	32
Fotografía 18-2: UE Santo Tomás Apóstol, RECTORADO.....	33
Fotografía 19-2: Combatientes de Tapi, SALA DE REUNIONES.....	34
Fotografía 20-2: Leopoldo Freire, RECTORADO.....	34
Fotografía 21-2: UE Mercedes Amelia Gallegos, RECTORADO.....	35
Fotografía 22-2: UE Manuel Chili, AULA.....	35
Fotografía 23-2: UE Intercultural Bilingüe Shiry Cacha, AULA.....	36

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE San Felipe Neri.....	45-46
Gráfica 2-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE La Providencia.....	46-47
Gráfica 3-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Santa Mariana de Jesús.....	47-48
Gráfica 4-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE San Vicente de Paúl.....	48-49
Gráfica 5-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE La Salle....	49-50
Gráfica 6-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Pedro Vicente Maldonado.....	50-51
Gráfica 7-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Carlos Cisneros.....	51-52
Gráfica 8-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Juan de Velazco.....	52-53
Gráfica 9-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Riobamba..	53-54
Gráfica 20-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Isabel de Godín.....	54-55
Gráfica 31-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Nuestra Señora de Fátima.....	55-56
Gráfica 42-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Miguel Ángel León.....	56-57
Gráfica 53-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Capitán Edmundo Chiriboga.....	57-58
Gráfica 64-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Jhon F. Kennedy.....	58-59
Gráfica 75-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Fernando Daquilema.....	59-60
Gráfica 86-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Amelia Gallegos Días.....	60-61
Gráfica 97-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn ^{222}Rn en la UE Licto.....	61-62
Gráfica 108-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Santo Tomás.....	62-63

Gráfica 119-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Combatientes de Tapi.....	63-64
Gráfica 20-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Leopoldo Freire.....	64-65
Gráfica 212-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Mercedes Amelia Gallegos.....	65-66
Gráfica 22-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Manuel Chili.....	66-67
Gráfica 23-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Bilingüe Shiry.....	67-68
Gráfica 24-4: Concentración de gas ^{222}Rn en las Unidades Educativas del Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba.....	68
Gráfica 25-4: Variación de la Temperatura en las Unidades Educativas del Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba.....	68
Gráfica 136-4: Distribución de la Concentración de Radón en las Unidades Educativas del Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba.....	69

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A	DETECTOR ALPHA E
ANEXO B	CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN ALPHA-E
ANEXO C	INSTITUCIONES EDUCATIVAS DEL DISTRITO 06D01 CHAMBO RIOBAMBA
ANEXO D	INSTITUCIONES EDUCATIVAS SELECCIONADAS DEL DISTRITO 06D01 CHAMBO-RIOBAMBA
ANEXO E	MAPA DE CONCENTRACIÓN Y DOSIS CANTÓN CHAMBO
ANEXO F	MAPA DE CONCENTRACIÓN Y DOSIS CANTÓN LICTO
ANEXO G	MAPA DE CONCENTRACIÓN Y DOSIS CANTÓN CACHA
ANEXO H	MAPA DE CONCENTRACIÓN Y DOSIS CANTÓN CACHA

LISTA DE ABREVIATURAS

UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
EPA	Environmental Protection Agency
ICRP	International Commission on Radiological Protection
OIEA	International Atomic Energy Agency
EURATOM	Comunidad Europea de la Energía Atómica
IARC	International Agency for Research of Cancer
OMS	Organización Mundial de la Salud
SCAN	Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares
WHO	World Health Organization
EER	Equivalentes de Equilibrio del Radón
ARPA	Agencia Regional para la Protección del Medio
CIAAW	Comisión sobre Abundancia de Isótopos y Pesos Atómicos
PDR	Productor de Desintegración del Radón
DECE	Departamento de Consejería Estudiantil
cph	Cuentas por hora
Bq/L	Bequerelio por litro
Bq/m ³	Bequerelio por metro cúbico
m.s.n.m	Metros sobre niveles del mar
MeV	Megaelectronvoltio
Λ_{Rn}	Constante de desintegración del radón
Λ_{leak}	Tasa de fuga
Λ_{eff}	Constante de decaimiento efectiva
Bg	Background, Fondo radiactivo característico
²³⁵ U	Uranio 235
²³⁸ U	Uranio 238
²³² Th	Torio 232
²²² Rn	Radón
²²⁰ Rn	Torón
²¹⁹ Rn	Actinon
²²⁶ Ra	Radio 226
PBPK	Physiologically Based Pharmacokinetic
PDR	Productos de desintegración del radón
C _{eq}	Concentración en equilibrio

t_{eq}	Tiempo en equilibrio
C_a	Concentración en aire
C_w	Concentración en agua
40K	Potasio 40
$^{\circ}C$	Grado centígrado
MA	Media Aritmética
SD	Desviación Estándar
σ_{MA}	Error Absoluto de la Media Aritmética
σ_{DE}	Error Absoluto de la Dosis Equivalente
GM	Media Geométrica
GSD	Desviación Estándar Geométrica
DE	Dosis Equivalente

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue detectar el gas Radón (^{222}Rn) en las Unidades Educativas de Nivel Superior del Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba con infraestructura antigua de la ciudad de Riobamba. Todas las medidas de concentración de radón en las U.E, fueron realizadas utilizando un detector pasivo ALPHA-E calibrado en Alemania, el equipo está basado en una cámara de difusión con un diodo de silicio interno, la sensibilidad es de 1 cph equivalente a 100 Bq/m^3 , el rango de medida es de 20 Bq/m^3 a 10 MBq/m^3 , además posee un sensor de inmersión para medir la temperatura del aire, la humedad, la presión, y el software (DATA VIEW) que permite la descarga y visualización de datos. El Distrito de Educación Chambo-Riobamba que abarca los cantones de Riobamba y Chambo de la provincia de Chimborazo está constituido de 200 U.E, que para el presente estudio se tomó 23 U.E, con infraestructuras que datan desde el año 1815 hasta el 2005. Los lugares escogidos para el monitoreo de radón estarían ubicados en la planta baja de las U.E. El tiempo de monitoreo fue de 8 días para las U.E antiguas (1815-1970) y de 4 días para las U.E modernas (1975-2005), todos en intervalos de ciclo de medición de 1 hora. Las medias aritméticas de concentraciones de radón en las U.E con infraestructura antigua y moderna (excepto la U.E SFN) fueron generalmente bajas con un máximo menor a la mitad de los niveles de referencia propuestos por la Unión Europea y EE.UU, excepto en el caso de la U.E SFN que supera los niveles de referencia. En conclusión, la media de la concentración de radón en las construcciones antiguas es mayor que en las modernas. Finalmente se evaluó la dosis equivalente por inhalación de radón en cada una de las U.E en base a las concentraciones promedio de radón respectivas.

PALABRAS CLAVE: <BIOFISICA>, <RADÓN (^{222}Rn)>, <CONCENTRACIÓN>, <DOSIS EFECTIVA>, <ALPHA E (DISPOSITIVO)>, <DIFUSIÓN>, <INHALACIÓN>, < CUENTAS POR HORA (CPH) >, < DATA VIEW (SOFTWARE) >.

ABSTRACT

The objective of this research was to detect Radon gas (^{222}Rn) in Higher Education Units (HEU) of the Education District 06D01 Chambo-Riobamba. All Radon concentration measurements in the HEU were made by using a passive ALPHA-E detector in Germany. The device is based on a silicon diode diffusion chamber which evidence: sensitivity is cph at 100 Bq/m^3 , the range of measurement is 20 Bq/m^3 to 10 Bq/m^3 , an immersion sensor to measure air temperature, humidity, pressure, and software (DATA VIEW) that allows data download and display. The Chambo-Riobamba HEU encompass cantons of Chimborazo province, Chambo, Licto and Cacha. In the present study 23/200 HEU were chosen with infrastructures date from 1815 to 2005. The radon monitoring places would be located on the ground floor or lower in the HEU. The monitoring time took 8 days for old HEU (1815-1970) and 4 days for recent HEU (1975-2005), all of them at 1-hour measurement cycle intervals. The arithmetic averages of radon concentrations in the HEU in old and recent infrastructures (except HEU SFN) were generally low with a maximum of less than half of the reference levels proposed by the European Union and the USA. In conclusion, the average radon concentration in older constructions is higher than in modern ones.

KEYWORDS: <BIOPHYSICS>, <RADON (^{222}Rn)>, <CONCENTRATION>, <EFFECTIVE DOSE>, <ALPHA E (DEVICE)>, <DISTRIBUTION>, <INHALATION>, <COUNTS PER HOUR (CPH)>, <DATA VIEW (SOFTWARE)>.



INTRODUCCIÓN

El radón es el único elemento gaseoso que es radiactivo en todos sus isotopos, es químicamente inerte por lo que se conoce como un gas noble. En condiciones ambientales el radón escapa de su fuente a la atmosfera, y si el lugar no es ventilado, tiende a acumularse en interiores.

En lugares cerrados, el mecanismo principal de entrada es el flujo de gas del suelo impulsado por presión a través de grietas en el piso, esto se debe a que el aire dentro de las viviendas normalmente está a una presión ligeramente más baja que el aire en el exterior, esta baja presión es la consecuencia de que el aire dentro de las viviendas sea más cálido que en exterior, lo cual produce un flujo de aire continuo. Ciertos materiales de construcción pueden actuar como importantes fuentes de radón en interiores, dichos materiales tienen una combinación de niveles elevados de ^{226}Ra y una porosidad que permite que escape el gas radón. Adicionalmente, el agua con la que se abastece la vivienda puede presentar altos niveles de radón, ya que los suministros de agua potable de los municipios son a menudo fuentes subterráneas, y varios estudios reportan que el agua subterránea contiene elevados niveles de radón.

Alrededor del mundo se realizan frecuentes estudios para determinar la concentración de gas radón en lugares cerrados de acceso público, especialmente en escuelas, con el propósito de reducir la exposición a los productos de vida corta del radón de los estudiantes, ya que este gas radioactivo fue declarado en 1988 por la Agencia Internacional de la Investigación sobre el Cáncer (IARC) adjunta a la Organización Mundial de la Salud (OMS) como sustancia cancerígena Tipo I, para los humanos.

El presente trabajo se llevó a cabo en las Unidades Educativas de Nivel Superior del Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba, provincia de Chimborazo, donde se realizó una evaluación exploratoria de la concentración de gas radón. Se denomina estudio exploratorio ya que existe la necesidad de evaluar los promedios anuales y relacionarlos a las peculiaridades de este gas cuya concentración de actividad depende de parámetros ambientales, material de construcción, suministros de agua y el efecto día-noche.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

En una investigación denominada “Evaluación del riesgo del radón en jardines de infantes y escuelas básicas eslovacas” la cual consistió en realizar las mediciones de las concentraciones equivalentes de equilibrio de radón (EER) en 645 edificios, se presenta la comparación de las mediciones de largo y corto plazo, la influencia de las estaciones primavera-verano, las variaciones diarias del radón y la localización de la fuente del radón. Además, se encontró que el nivel de acción de EER se superó en 16 escuelas y se concluyó que los valores reales de efectividad anual las dosis estimadas para alumnos y profesores en las escuelas, son aproximadamente cinco veces menores que las dosis estimadas a partir de los resultados de las mediciones a largo plazo debido al régimen de ventilación (Radon Risk Assessment in Slovak Kindergartens, 1997 págs. 201-206).

Otro estudio relacionado, es “ Mediciones de gas radón en el interior de viviendas de la república de Argentina”. Desde el año 1983 se midió la concentración de gas radón en viviendas de distintas ciudades de la Argentina utilizando como método de detección distintos detectores, analizando un total de 1630 viviendas en las cuales los materiales de construcción predominantes fueron el hormigón armado y el ladrillo. Los promedios de las concentraciones de gas radón en las distintas ciudades varía entre 6 y 49 Bq/m³ con una media geométrica de 23 Bq/m³ y un promedio aritmético igual a 33 Bq/m³ (Oliveira et al., 2000: pp 66-67).

El estudio denominado “Mediciones de radón en jardines infantes y escuelas de seis regiones italianas” reporta la medición de la concentración de radón en 2173 escuelas y jardines de 115 ciudades dentro de las seis regiones de Italia, utilizando dosímetros pasivos en escuelas y jardines seleccionados al azar, las habitaciones a monitorear fueron elegidas entre las más utilizadas por alumnos y personal administrativo. En la discusión de resultados se tomó en cuenta el material del cual estaba hecho el piso y la ubicación geográfica de las mediciones, en algunas regiones las instituciones mostraron una concentración de radón superior a los niveles de acción permitidos en algunos países de Europa (Gaidolfi et al., 1998: pp 66).

La Agencia Regional para la Protección del Medio Ambiente (ARPA) de Friuli Venezia Giulia en conjunto con la Provincia de Pordenone llevó a cabo un proyecto llamado "Investigación del radón en las escuelas del norte-este de Italia", para determinar la concentración de radón en 900 escuelas ubicadas tanto en territorio montañoso como en plano, con diferentes técnicas de medición. El propósito de este estudio fue descubrir áreas propensas al radón, el índice más alto de la concentración de radón fue encontrado en los puntos más altos es decir sectores montañosos sin descartar también las características de los edificios (Giovani et al., 2001: pp 2-6).

En una investigación llamada "Niveles de radón en interiores de edificios de la comunidad autónoma de Extremadura (España)", se evaluó la concentración del gas radón en el interior de los edificios de la Comunidad de Extremadura mediante la selección de 194 puntos de muestreo para realizar las mediciones entre 1998 y 2000 tomando en cuenta la influencia de factores como son la litología del lugar, los elementos constructivos y ventilación del local, así como la evolución estacional de las concentraciones de radón. Como resultado, un 22% de los edificios muestreados se encontraban por encima de los 400 Bq/m³ impuestos como límite de acción por la Unión Europea (Baeza et al., 2003: pp 5-8).

Un trabajo muy integral es, "Radón en las escuelas Irlandesas: los resultados de una investigación nacional". Este estudio empezó el año 1998 y terminó en 2004, analizando un total de 38531 aulas de planta baja y 3826 oficinas de las escuelas primarias y post-primarias que representan más del 95% de las 4000 escuelas primarias y post-primarias de Irlanda convirtiéndose en uno de los estudios más completos en su tipo realizado en Europa. La concentración del radón se midió durante un periodo de tres a nueve meses con detectores pasivos. Como resultados se obtuvo que 984 escuelas tenían concentraciones de radón superiores a 200 Bq/m³ y 329 escuelas tenían concentraciones de radón superiores a 400 Bq/m³. La concentración promedio de radón en las escuelas fue de 93 Bq/m³. Esto resulta en una dosis efectiva media anual a un niño irlandés por exposición al radón de 0.3 mSv por año, suponiendo que la concentración de radón a largo plazo es igual a la concentración de radón presente durante las horas de trabajo y que la ocupación promedio es de 1000 h/año. Tomando en cuenta estos resultados se instaló un programa de remediación en las escuelas con concentraciones de radón arriba de 200 Bq/m³ (Synnott et al., 2006: pp 9-12).

Otro trabajo utilizado como referencia para el presente estudio es "Investigación de radón en interiores de 120 escuelas ubicadas en cuatro distritos de la provincia de Punjab-Pakistán", donde instalaron 360 dosímetros del tipo CR-39. Según los resultados la concentración del radón varió de 18±7 a 168±5 Bq/m³ con un valor promedio de 52±9 Bq/m³. Alto nivel de radón en interiores

los valores de concentración se encontraron en la temporada de verano, mientras que los valores más bajos se registraron en la temporada de otoño. La media del equivalente de dosis eficaz anual de radón fue estimada en 0.49mSv por año (Rahman et al., 2010: pp 32).

Finalmente, se utilizó como referente un trabajo realizado en Perú, llamado "Mediciones de la concentración de (^{222}Rn) en residencias de Lima-Perú", donde se analizaron 25 residencias pertenecientes a 16 distritos con diversas variables para el muestreo como antigüedad, materiales de construcción, revestimientos, tipo de suelo, uso ocupacional de las habitaciones monitoreadas, etc. Durante un periodo de 3 a 6 meses en forma continua con periodos de medición de 1 a 2 meses, las mediciones se realizaron con detectores pasivos de nitrato de celulosa, los resultados son sólo indicadores de la tasa de radón presente, por el tipo de detectores no fue posible discriminar la presencia de los descendientes del (^{222}Rn) (Pereyra et al., 2014: pp 64).

1.2. Planteamiento del problema

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) incluyeron al radón en la clase 1 de la lista que enumera las 87 sustancias consideradas cancerígenas, tomándolo como riesgo radiológico porque emite partículas radiactivas sedimentándose dentro de los pulmones que afectará principalmente al sistema respiratorio de esta manera radica el efecto nocivo de este gas en estudiantes de 5 a 17 años de edad. El radón de una manera significativa se encuentra en edificaciones de infraestructura antigua ya que dichos materiales utilizados en estas construcciones se hacían ambiguamente y se desconocía que este gas se encuentra presente en dichos materiales.

En Ecuador referente provincia de Chimborazo no se ha realizado un estudio exploratorio de la Concentración de Radón en las Unidades Educativas del Distrito de Educación 06D01 Chamba-Riobamba. Se denomina estudio exploratorio ya que existe la necesidad de evaluar los promedios anuales y relacionarlos a las peculiaridades de este gas cuya concentración de actividad depende de parámetros ambientales, material de construcción, suministros de agua y el efecto día-noche.

1.3. Justificación

Instituciones intergubernamentales reconocidas a nivel mundial, han publicado normas que dictaminan los límites máximos permisibles de concentración de ^{222}Rn (la EPA prevé un nivel de dosis máxima permitida de 150 Bq/m³, de concentración de actividad de gas radón y la EURATOM prevé un nivel de dosis máxima permitida de 500 Bq/m³ y 300 Bq/m³ de

concentración de actividad de gas radón en lugares de infraestructura antigua y moderna, respectivamente). El valor estimado de la exposición anual media mundial a las fuentes naturales de radiación se mantiene en 2,4 mSv.

Existen insuficientes datos sobre el tema del radón en el Ecuador, es por eso la importancia de llevar a cabo una exploración de tipo subjetiva enfocada en Unidades Educativas de Nivel Superior del Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba de infraestructuras antiguas y modernas para observar como varían las concentraciones de gas radón debido a las fuentes de emanación como material de construcción, suministro de agua presentes en la planta baja de dichas Unidades Educativas que son frecuentes por estudiantes, padres de familia, personal administrativo.

Con las concentraciones radón (^{222}Rn) obtenidas en cada una de las Unidades Educativas del Distrito Chambo-Riobamba se puede calcular la dosis efectiva anual por inhalación de radón, para saber si los datos obtenidos están dentro de los límites permitidos por los Organismos Internacionales competentes y de esta manera saber si todas las personas que frecuentan las Unidades Educativas están fuera de peligro de contraer a largo plazo afecciones en el Sistema Respiratorio por la inhalación de altas concentraciones de radón ya que los niños entre 1 y 12 años presentan una radiosensibilidad mayor con respecto a un adulto.

1.4. Objetivos

- ***Objetivo general***

Detectar el gas Radón (^{222}Rn) en las Unidades Educativas de Nivel Superior del Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba con infraestructura antigua de la ciudad de Riobamba.

- ***Objetivos específicos***

1. Clasificar las Unidades Educativas del Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba en orden cronológico según su año de construcción.
2. Identificar los lugares cerrados idóneos de cada Unidad Educativa de Nivel Superior para evaluar la concentración de la actividad de gas Radón (^{222}Rn).
3. Realizar las mediciones de concentración de gas Radón (^{222}Rn) en los lugares identificados.

4. Calcular la dosis efectiva anual por inhalación del gas radón (^{222}Rn).
5. Elaborar un mapa con los datos obtenidos de la dosis calculada por inhalación del gas radón.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Generalidades del Rn

2.1.1 Descubrimiento del Radón

El descubrimiento del radón se produjo a inicios del siglo XX en 1900, por el químico y profesor universitario Alemán Friedrich Ernest Dorn quien descubre que el radón se emitía desde el radio, mientras trabajaba en la identificación de materiales radiactivos emitidos por torio, posteriormente descubre que el radio y el torio emitían la misma sustancia radioactiva. Dorn denomina a éste fenómeno como “emanación”, posteriormente Ernest Rutherford extiende el trabajo de Dorn sobre el torio y lo denomina “emanación del radio” o torón (^{220}Rn).

William Ramsay, que ganó el Premio Nobel de Química en 1904 por descubrir la existencia de gases nobles, trabajó con Robert Whytlaw Gray para crear una nueva columna de gases nobles en la tabla periódica. En un gran momento en la historia del radón, aislaron el radón y calcularon su densidad para incluirla en la tabla periódica, posicionando al radón como el quinto radioisótopo encontrado luego del polonio, torio y radio. En el año de 1903 el químico francés Andre Louis Debierne descubrió que el actinio también emitió un gas radiactivo el actinon (^{219}Rn) (Marshall, James L. et al., 2003: pp. 76-78).

En 1912 el gas radón fue aceptado como un nuevo elemento por la Comisión sobre Abundancia de Isótopos y Pesos Atómicos (CIAAW), más tarde en 1923, el Comité Internacional de Elementos Químicos y la Unión Internacional de Química pura y aplicada (IUPAC) aprobó el uso de los nombres radón (Rn), torón (Tn) y actinon (An) (Laughlin, 2012: pp. 12-16).

2.1.2. Propiedades químicas y físicas del Radón

Propiedades Químicas

El radón es un elemento gaseoso inerte radiactivo, inodoro, insípido, incoloro e inestable en todos sus isotopos, el radón es soluble en agua y denso en aire. El estado habitual del radón en la naturaleza es gaseoso, presenta el comportamiento de un “metaloide” aunque sea un gas noble,

no reacciona con ningún elemento, es decir, es químicamente inerte con un número atómico 89 al que se le conoce como un gas noble. En la tabla (1-2) se resume las propiedades químicas del gas radón.

Tabla 1-2: Propiedades Químicas del ^{222}Rn

Sím bolo	Número atómico	Masa atómica (u.m.a.)	Punto de ebullición (°C)	Punto de fusión (°C)	Configuración electrónica	Estado	Aspecto
Rn	86	222	-61.8	-71	[Xe]4f145d106s2 6p	gaseoso	incoloro

Fuente: García, 2017 (Propiedades Químicas del radón).

Realizado por: Caty Santillán, 2018

Propiedades Físicas

Existen tres isótopos de radón en la corteza terrestre, el radón (^{222}Rn), torón (^{220}Rn) y actinon (^{219}Rn) que se originan de la cadena de decaimiento del uranio, torio y actinio respectivamente, (ver Figura 1-2). En cada una de las cadenas de decaimiento se muestra una serie de núcleos intermedios con semividas que van desde los microsegundos hasta miles de años. En este transcurso las series experimentan un desequilibrio, que describen el fraccionamiento de los elementos presentes en la cadena de desintegración con un precursor directo que es el ^{226}Ra generando un equilibrio secular.

Los otros elementos de la serie presentan diferentes propiedades químicas y físicas, en particular: polonio y bismuto como un metaloide, radio como un metal alcalinotérreo, talio y plomo como metales. La importancia del gas radón en el ámbito de la radioprotección recae sobre su abundancia relativa y en su tiempo de vida media. A su vez, el actinon es el radioisótopo que tiene la vida media más corta de tan solo 4 segundos y casi siempre se produce en cantidades muy pequeñas a comparación del ^{222}Rn , ya que la proporción natural de sus progenitores ($^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$) es 0.00719. A su vez, el ^{220}Rn tiene una vida media de 55 segundos y en relación con radón. Por lo tanto, el torón y el actinon pueden considerarse insignificante en términos de riesgo.

La distancia que alcanza el ^{222}Rn y ^{220}Rn durante una vida media es 2,2 m y 0,029 respectivamente, ya que el ^{220}Rn se considera solo un fondo para los detectores, es por ello que este trabajo se concentra al estudio del isótopo ^{222}Rn , que a partir de ahora será llamado RADÓN.

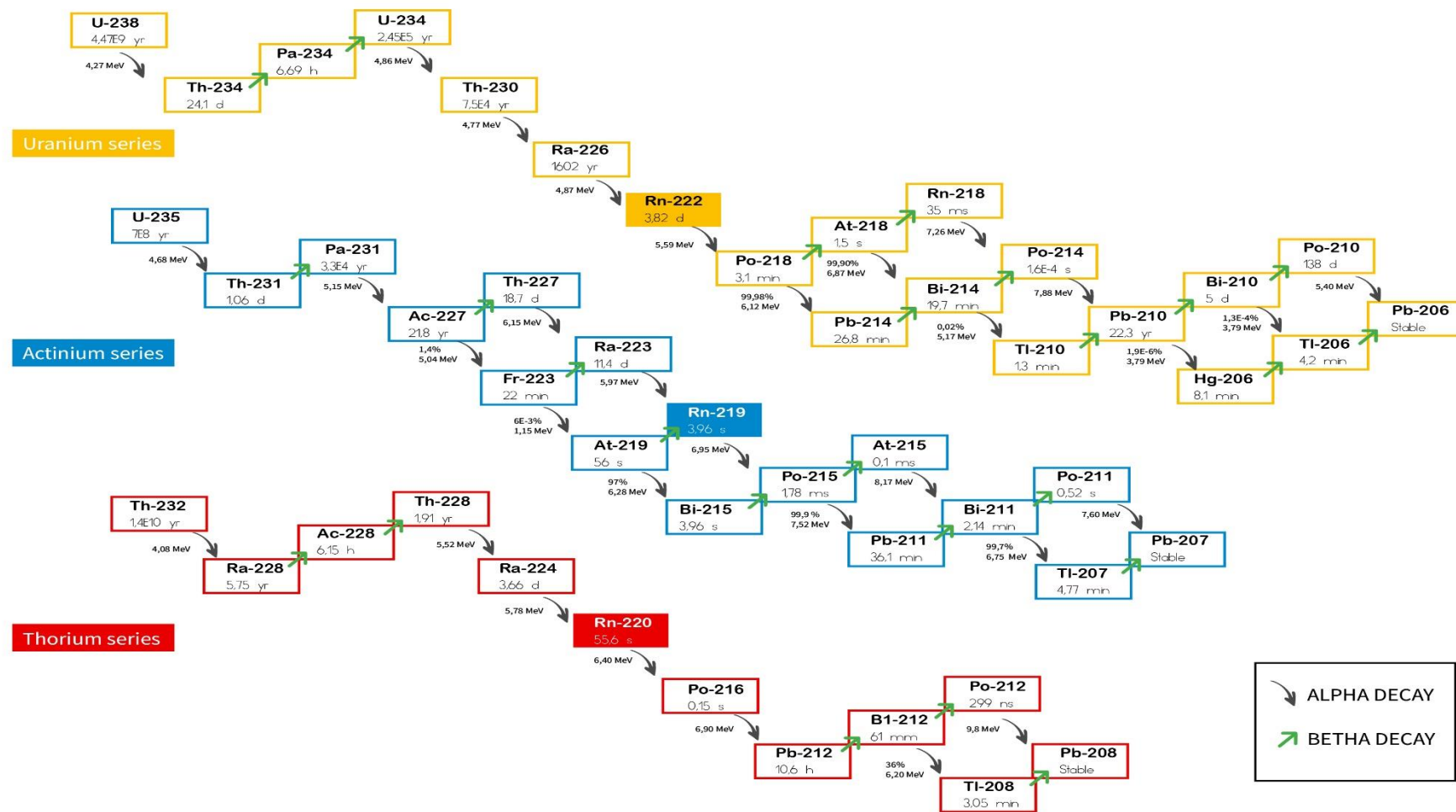


Figura 1-2: Cadenas de decaimiento radiactivo natural: ^{238}U , ^{235}U y ^{232}Th

Fuente: (Flipgentleman, 2017:300-302), Handbook of Nuclear chemistry.

En la Figura 1-2 observamos la emisión de partículas beta de forma diagonal y la emisión de núcleos de helio (decaimiento alfa) en los procesos verticales. En cada una de las cadenas de decaimiento los isótopos del radón nacen de una emisión alfa por radio; por tanto, la producción de radón es proporcional al radio presente en la tierra.

Las principales características físicas de los isótopos naturales del Radón se muestran en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2: Propiedades relevantes del ^{222}Rn , ^{220}Rn y ^{219}Rn .

Parámetros		<i>^{222}Rn</i>	<i>^{220}Rn</i>	<i>^{219}Rn</i>
Denominación		Radón	Torón	Actinon
Vida media	$T_{1/2}$	3.8232 (8)d	55.8 (3)s	3.98 (3)s
Constante de decaimiento	λ	$2.098\text{E-}6 \text{ s}^{-1}$	$1.242\text{E-}2 \text{ s}^{-1}$	$1.742\text{E-}1 \text{ s}^{-1}$
Promedio de energía de retroceso	E_r	86keV	103keV	104keV
Actividad específica	A_m	$5.69\text{E}15\text{Bq/g}$	$34.00\text{E}18\text{Bq/g}$	$478.9\text{E}18\text{Bq/g}$
Coefficiente de difusión en aire	D_a	$1\text{E-}5 \text{ m}^2/\text{s}$		
Coefficiente de difusión en agua	D_w	$1\text{E-}9 \text{ m}^2/\text{s}$		
Energía alfa	Q^α	5590.3 keV	6404.7keV	6946.1keV

Fuente: Tene, 2017 (Environmental Radon Measurements using a closed chamber for building materials and water and a feasible program for Ecuador).

Realizado por: Caty Santillán 2018

2.1.2 Isótopo ^{222}Rn y sus productos de decaimiento

El ^{222}Rn se produce por el decaimiento del ^{226}Ra mediante liberación de una partícula alfa y la emisión de energía de 5590.3 keV (ver Figura 2-2). Los productos de descomposición del radón (^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po , ^{210}Pb , ^{210}Bi , ^{210}Po y ^{206}Pb) no son químicamente inertes y en el aire dan lugar a moléculas en fase de condensación o son unidos al polvo en aire o partículas de agua, mostrando ser un aerosol radioactivo que podría depositarse en los pulmones en su totalidad. Éstos productos de decaimiento presentan diferentes propiedades físicas descritas en la tabla 3-2.

Tabla 3-2: Propiedades relevantes de los PDR (Productos de Desintegración del Radón)

Elemento	222Rn	218Po	214Pb	214Bi	214Po	210Pb	210Bi	210Po	206Pb
Energía (E) keV	5590.3	6114.68	1019	3270	7833.46	1019	1161.2	5407.45	E S T A B L E
Tiempo de vida media ($T_{1/2}$)	3.8232 d	3.071 min	26.916 min	19.8 min	162.3x10 ⁻⁶ min	26.916 min	5.011 d	138.3763 d	
Constante de decaimiento (λ) s⁻¹	2.09838x10 ⁻⁶	3.762x10 ⁻³	429.2x10 ⁻⁶	583.5x10 ⁻⁶	4.271x10 ³	429.2x10 ⁻⁶	1.6010x10 ⁻⁶	57.9762x10 ⁻⁹	
Actividad Específica (A_m) Bq/g	5.6922x10 ¹⁵	10.39x10 ¹⁸	1.2078x10 ¹⁸	1.642x10 ¹⁸	12.02x10 ²⁴	1.2078x10 ¹⁸	4.5911x10 ¹⁵	166.2577x10 ¹²	
Tipo de decaimiento (%)	α (100%)	α (99.978%)	β (100%)	α (0.021%)	α (100%)	α (1.9x10 ⁻⁶⁰⁰ %)	α (0.00014%)	α (100%)	

Fuente: <http://www.nucleide.org/Laraweb/index.php>

Realizado por: Caty Santillán 2018

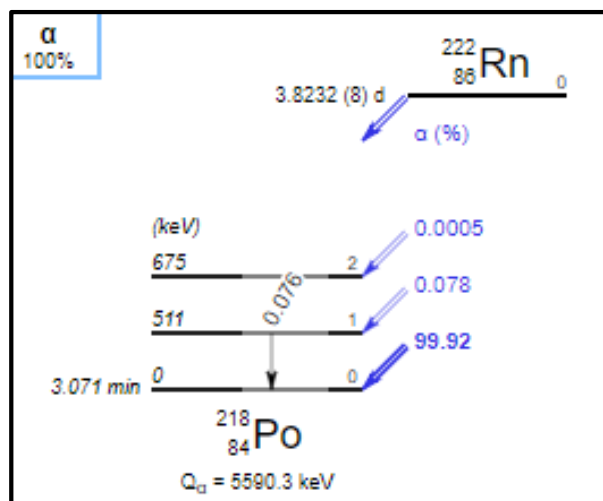


Figura 2-2: Esquema de decaimiento del radón.

Fuente:(Moles, 2013), Contaminación de Interiores.

2.1.3 Mecanismo de producción de radón

La cantidad de radón presente en la corteza terrestre no solo depende de la cantidad de ^{226}Ra existente en el mismo, si no de las condiciones geológicas y climatológicas. Por lo tanto, solo una porción de radón producida del decaimiento de ^{226}Ra , es libre para moverse entre los espacios intersticiales del suelo. Se origina de forma natural en las rocas y sedimentos, por lo que el gas radón generado en las rocas se acumula en el aire de los poros de rocas y suelos, desde donde es exhalado y migra a la atmósfera. Además, es un gas muy soluble en agua, que por tanto se encuentra presente en prácticamente todos los ambientes naturales (Über die von radioaktiven Substanzen ausgesandte Emanation, 2007 págs. 1-15).

2.1.4 Mecanismo de liberación de radón

El radón es liberado a partir de la expulsión de una partícula alfa desde el núcleo de ^{226}Ra , lo que produce el efecto de retroceso del átomo de ^{222}Rn , éste efecto de retroceso produce el movimiento del radón desde algún lugar del grano donde fue creado, la distancia que puede moverse el radón depende del medio en el que es liberado (Kigoshi, 1971: pp. 12-19).

La mayor parte del radón producido dentro de un grano de mineral permanece incrustada en el grano, solo del 10 al 50 por ciento escapa e ingresa el espacio de poro. Si el agua está presente en el espacio de los poros, el átomo de radón puede permanecer de una manera más fácil en el espacio de los poros; si el espacio de los poros está seco, el núcleo del radón puede dispararse a través del poro e incrustarse en otro grano donde no se podrá mover (Otton, 1992: p. 9).

Las distancias en la que pueden moverse los átomos de radón son: (0,02 - 0,07) μm en minerales comunes, (0,1) μm en aire y (63) μm en agua (Nazaroff, 1992:), como resultado sólo átomos resultantes en el borde del grano (menos de 70nm) puede alcanzar un poro. Investigaciones desarrolladas alrededor del mundo, señalan que la mayor cantidad de radón producido nunca escapa de la zona de nacimiento (Sasaki et al., 2004: pp. 23-28).

2.1.5. Mecanismo de transporte

El transporte del radón se genera por dos procesos fundamentales: difusión y convección. La convección depende del gradiente de presión, que puede no estar presente. El mecanismo responsable de crear este gradiente de presión es la interacción del viento con el suelo y la calefacción (Keskikuru et al., 2001: pp. 12). Acerca de la difusión, suponiendo que el radón es un fluido, sigue la ley de Fick.

La ley de Fick afirma que el flujo j , va desde una región de alta concentración a una región de baja concentración ver Figura 4-2, con una magnitud que es proporcional al gradiente de concentración del gas radón. El flujo fluctuante u' en una dirección es compensado por otro flujo u' de una misma magnitud en dirección opuesta. Entonces, la ecuación de flujo de difusión dimensional es (Guapizaca, 2017, p. 14):

$$j = c_1 u' - c_2 u' = -u' \Delta c \quad [1]$$

j = cantidad de radón por unidad de área por unidad de tiempo

c = concentración de radón

u' = flujo fluctuante

La difusión de radón se puede describir con el coeficiente de difusión D que depende de la temperatura, la viscosidad del fluido y el tamaño de las partículas (Aldenkamp et al., 1994: pp. 33).

$$j = -D \frac{\delta c(x)}{\delta x} \quad [2]$$

$c(x)$ = concentración de actividad del radón.

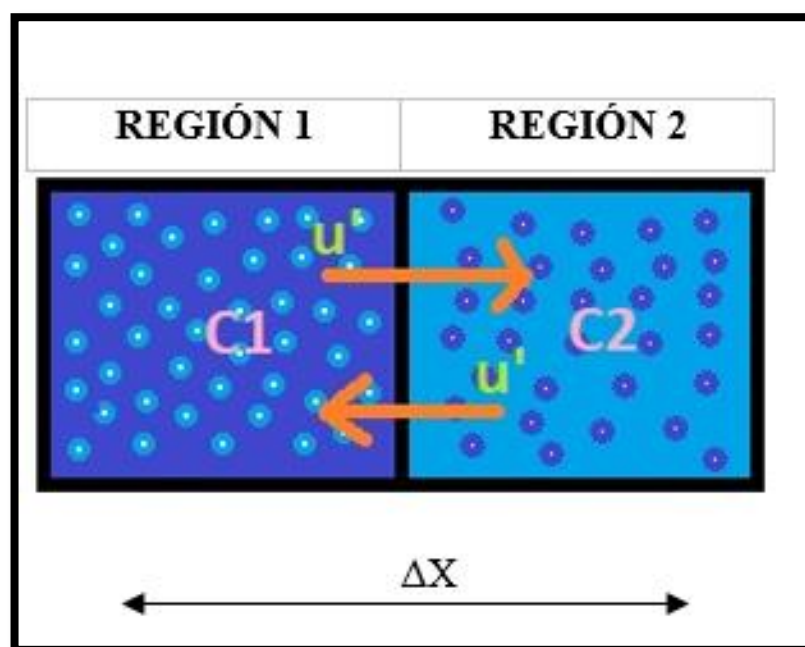


Figura 3-2: Representación de la difusión unidimensional del radón entre dos regiones con diferente densidad.

Fuente: (Diffusive mass transfer by nonequilibrium fluctuations: Fick's law revisited, 2000).
Diffusive mass transfer by nonequilibrium fluctuations: Fick's law revisited

2.2 Fuentes y niveles de exposición al radón

2.2.1 Exteriores

La concentración de radón en los exteriores se ve afectada no solo por la magnitud de la velocidad de liberación del suelo a la atmósfera, sino también por los fenómenos de mezcla atmosférica. El calentamiento solar durante el día produce turbulencia, por lo que el radón se transporta más fácilmente hacia arriba y lejos del suelo. Doi y Kobayashi (VERTICAL DISTRIBUTION OF OUTDOOR RADON AND THORON IN JAPAN USING A NEW DISCRIMINATIVE DOSIMETER, 1994 págs. 385-391) proporcionan información sobre la distorsión verídica del radón y el torón al aire libre en Japón. Por la noche y en las primeras horas de la mañana, a menudo se encuentran condiciones de inversión atmosférica (temperatura); estos tienden a atrapar el radón más cerca del suelo. esto significa que la concentración de radón al aire libre puede variar diurnamente en un factor de hasta 10. variaciones de temporada, relacionadas con los efectos de la precipitación o los cambios en los vientos prevalecientes, también existen (Sources and Effects of Ionizing Radiation, 2000 pág. 400). una evacuación de la exposición a concentraciones al aire libre de radón en Iowa y Minnessota en Estados Unidos concluyó que la exposición al aire libre al radón en algunas áreas

puede ser una fracción sustancial de la exposición de un individuo a la radiación y además es muy variable en toda la población. Los niveles al aire libre de radón proporcionan una línea base para la concentración en el interior son esencialmente los mismos debido al intercambio rápido entre el aire interior y exterior (Indoor and outdoor ^{222}Rn Measurements in Bangkok and Chiang Mai, Thailand, 2000 págs. 321-323).

El informe UNSCEAR 2000 (Sources and Effects of Ionizing Radiation, 2000 pág. 400) sugiere que los niveles típicos al aire libre de gas de radón y de torón son cada uno del orden de 10 Bq/m^3 . Sin embargo, existe una amplia gama de concentraciones promedio de radón a largo plazo, desde aproximadamente 1 Bq/m^3 a más de 100 Bq/m^3 , con niveles más bajos típicos de sitios con alta exhalación de radón en áreas circundantes grandes.

2.2.2. Interiores

En edificios con altos niveles de radón, el mecanismo principal para la entrada de radón es el flujo de gas del suelo impulsado por presión a través de grietas en el piso. Esto se debe a que el aire dentro de los edificios normalmente está a una presión ligeramente más baja que el aire en el exterior. Esta baja presión es la consecuencia de que el aire dentro del edificio sea más cálido que el exterior. Especialmente en las zonas templadas, esto provoca un flujo convectivo (efecto de chimenea) que, junto con el efecto del viento que sopla sobre las chimeneas y otras aberturas (efecto Venturi), atrae gas del suelo y, por lo tanto, radón al interior del edificio. Sin embargo, además de las diferencias de presión, otros factores, como la humedad relativa y la humedad del suelo, también pueden influir en los niveles de radón en la construcción (Main meteorological parameters to influence indoor radon level, 2002 págs. 120-126).

Mientras que la mayoría de los materiales de construcción producen algo de radón, ciertos materiales pueden actuar como importantes fuentes de radón en interiores. Dichos materiales tienen una combinación de niveles elevados de ^{226}Ra (el elemento radiactivo principal del radón) y una porosidad que permite que escape el gas radón. Los ejemplos son hormigón liviano, fosfoyeso y toba italiana.

También el agua subterránea puede encontrarse altos niveles de radón, debido a que los suministros de agua potable de instituciones públicas y privadas son a menudo fuentes subterráneas. En los Estados Unidos y Alemania se informó que los suministros de agua subterránea contienen radón en niveles elevados tanto en agua como en aire con hasta varios cientos de miles de becquerels por metro cúbico (Sources and Effects of Ionizing Radiation, 2000).

Existe una cantidad de datos disponibles sobre concentraciones de radón en el aire interior. Compilaciones sustanciales de mediciones de radón aparecieron en los informes del UNSCEAR 2000, 1993 y 1988 (Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1993 Report to the General Assembly, with scientific annexes, 1993 pág. 18) (Sources and Effects of Ionizing Radiation, 2000 pág. 502) (Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1988 Report to the General Assembly, with annexe, 1988 págs. 253-270). Sobre la base de los datos actuales, (Sources and Effects of Ionizing Radiation, 2000 pág. 503) informa valores deducidos de 40 y 30 Bq / m³. Para el medios aritméticos y geométricos de concentraciones de gas de radón en interiores en todo el mundo, con una desviación estándar geométrica de 2.3.

Según la referencia (Indoor radon measurements in six Latin American countries, 2000 págs. 453-457), la mayoría de los niveles de radón en interiores en América Latina están por debajo de 100 Bq/m³. Sin embargo, los niveles pueden ser bastante variables en diferentes regiones dentro de un país, como lo demuestran los datos de 17 estados en México, que informan los niveles medios de radón en los 17 estados encuestados que van desde menos 40 Bq/m³ a cerca de 200 Bq/m³. El valor medio general informado en los 17 estados encuestados fue de 111,6 Bq / m³.

El Informe UNSCEAR 2000 (Sources and Effects of Ionizing Radiation, 2000 págs. 499-551) proporciona valores medios aritméticos mundiales de 46 Bq/m³ (no ponderado) y 39Bq / m³ (ponderado por población). Los valores medios geométricos mundiales de 37 Bq/m³ (no ponderado) y 30 Bq/m³ (ponderado por población) con la correspondiente duración del estándar geométrico de 2.2 (no ponderado) y 2.3 (ponderado por población) también se presentan en (Sources and Effects of Ionizing Radiation, 2000 pág. 500).

El Informe (Sources and Effects of Ionizing Radiation, 2000 pág. 551) proporciona una dosis anual per cápita estimada en 1,15mSv por exposición a fuentes naturales de radón. Este valor sigue siendo apropiado. El Informe UNSCEAR 2000 también proporciona una dosis anual de 0.1 mSv de fuentes naturales de torón.

2.2.3. Lugares de trabajo

Los lugares de trabajo de las minas donde el radón puede presentar un riesgo es grande. Incluye lugares de trabajo subterráneos como túneles, estacionamientos subterráneos, tiendas, cuevas,

balnearios y minas cerradas abiertas a los visitantes, la mayoría de estos lugares de trabajo, como fábricas, tiendas, escuelas y oficinas, estarán sobre la superficie.

Existen otros lugares de trabajo donde se almacenan o procesan grandes cantidades de materiales con concentraciones elevadas de radio, por ejemplo, la producción de fertilizantes fosfatados (Environmental impacts of phosphogypsum, 1994) o la minería de arena de monacita (grupo de cuatro minerales distintos) , pueden presentar niveles elevados de radón y torón (Naturally-Occurring Radioactive Material (NORM) in Australia: Issues for Discussion, 2005 págs. 118-138).

Los lugares de trabajo subterráneos, incluidas las minas distintas de uranio, especialmente las minas de carbón, pueden acumular niveles elevados de radón de la misma manera que las cuevas naturales o las minas abandonadas. Los niveles altos de radón en lugares de trabajo subterráneos no se limitarán solo a aquellas áreas donde se encontraron niveles elevados en lugares de trabajo sobre el suelo. La experiencia de los mineros de fluorita de Terranova ilustra esto. Los niveles de ^{226}Ra en la roca huésped fueron bajos, pero los mineros estuvieron expuestos a niveles elevados de radón y productos de descomposición de corta duración derivados del radón en las aguas subterráneas, que ingresaron a la mina y subsecuentemente a la atmósfera de la mina (The Thoron Issue: Monitoring Activities, Measuring Techniques and Dose Conversion Factors, 1998 págs. 59-64).

La exposición a fuentes ambientales de radón de la minería y el procesamiento de minerales es común, y la inhalación de PDR puede ser una vía de exposición importante. Para los trabajadores involucrados en el ciclo del combustible nuclear, la exposición al radón de la minería y la molienda es un contribuyente relativamente importante a la dosis per cápita.

El número total de trabajadores expuestos a fuentes de origen humano y fuentes naturales mejoradas figuraba en el informe del (Sources and Effects of Ionizing Radiation, 2000 págs. 547-548) como 11,1 millones. Aproximadamente 4.6 millones de trabajadores estuvieron expuestos a fuentes hechas por humanos a una dosis anual promedio (efectiva) de aproximadamente 0.6 mSv. Unos 6,5 millones de trabajadores estuvieron expuestos a fuentes naturales mejoradas a una dosis promedio anual de aproximadamente 1,8 mSv, de los cuales aproximadamente la mitad provenía del radón. La estimación para el radón en lugares de trabajo sobre el suelo (por ejemplo, en la industria del fosfato) todavía se considera cruda.

Para los trabajadores involucrados en la producción de energía nuclear, aquellos involucrados en la extracción de uranio típicamente reciben las dosis colectivas más altas; una parte importante de esa exposición proviene de la inhalación de radón. El grupo de trabajadores en la categoría de

lugares de trabajo sobre el terreno es el segundo grupo más numeroso identificado en el anexo B del informe de (Sources and Effects of Ionizing Radiation, 2000 págs. 547-548). Se estimó que estos trabajadores recibían una dosis efectiva anual promedio de 4.8 mSv. Ésta es la mayor dosis promedio anual recibida por cualquier tipo de trabajador y se debió exclusivamente al radón.

2.2.4. Dosimetría

El riesgo para la salud asociado con el radón surge de la inhalación de los productos de descomposición de vida corta y la consiguiente dosis a las células críticas del tracto respiratorio. Las estimaciones de la dosis absorbida a las células críticas del tracto respiratorio por unidad de exposición al radón pueden derivarse de un análisis de información sobre la distribución del tamaño del aerosol, fracción no adherida, frecuencia respiratoria, deposición fraccionada en las vías respiratorias, tasa de eliminación mucosa y ubicación de las células en las vías respiratorias. Tales estimaciones dependen del modelo y están necesariamente sujetas a todas las incertidumbres asociadas con los datos de entrada, así como a las suposiciones incorporadas en el modelo particular. El procedimiento de cálculo de la dosis y las suposiciones se describen en el Informe UNSCEAR 2000. La magnitud del riesgo de la exposición a los PDR se cuantificó en los estudios epidemiológicos de la mayor tasa de cáncer de pulmón entre los trabajadores de minas de uranio y, más recientemente, en los estudios de casos y controles residenciales.

La Publicación 65 de la ICRP (Protection Against Radon-222 at Home and at Work, 1993 pág. 40) recomendó el uso de los factores de riesgo determinados a partir de estudios epidemiológicos de los mineros de uranio como el método preferido para la conversión RDP exposición a dosis efectiva.

La ICRP ha proporcionado orientación sobre un convenio de conversión de dosis para fines de protección radiológica (Protection Against Radon-222 at Home and at Work, 1993 pág. 23). Para el radón, la ICRP recomienda la convención de conversión RDP de que todas las exposiciones se combinen en una base equivalente a la dosis y al riesgo. El uso de un valor único para el factor de conversión de dosis supone implícitamente:

- (a) que la distribución del tamaño de partícula RDP para la exposición ocupacional, en particular la fracción y el tamaño de partícula del modo ultrafino, no es muy diferente de la distribución del tamaño de partícula en minas de uranio; y
- (b) para las exposiciones del público en general, que las diferencias en las condiciones de los aerosoles se compensan con tasas de respiración más bajas para los miembros del

público, particularmente los niños. La convención de conversión ICRP actual no es aplicable a productos de decaimiento de torón.

Dosis equivalente anual por inhalación

El radón inhalado, al ser un gas noble, está constantemente presente en el volumen de aire de los pulmones a la concentración en el aire y se disuelve parcialmente en los tejidos blandos.

La dosis efectiva evaluada por año debido a la inhalación de radón (UNSCEAR, 1988: pp. 77) es:

$$H = C_{Rn} * F * O * DCF \quad (1)$$

C_{Rn} = Concentración de Radón

$F = 0,4$

$O = 7000$ residencia

$O = 2000$ ocupacional

$DCF = 9 \times 10^{-9}$ Sv/Bqm⁻³h

2.2.5. Estudios Epidemiológicos de exposición

Estudios de los últimos veinte años han presentado un gran interés en los riesgos derivados de la exposición al radón y sus productos de descomposición. Los estudios de mineros demuestran claramente que la exposición a radón y productos de desintegración del radón causa cáncer de pulmón (Lung Cancer Risk from Exposures to Radon Daughters, 1987 pág. 30) (Protection Against Radon-222 at Home and at Work, 1993 pág. 32). Los datos de experimentos con animales como los descritos en la sección III del reporte del 2006 de la UNSCEAR Anexo E, también demuestran que la exposición al radón y sus productos de descomposición causa cáncer de pulmón. Hasta hace poco, los datos de los estudios de mineros subterráneos en minas de uranio y otras minas formaban la base para estimar los riesgos de la exposición a los PDR y para investigar la relación exposición-respuesta, como, por ejemplo, fue llevado a cabo por BEIR VI en su conjunto análisis de 11 cohortes de mineros (Health Effects of Exposure to Radon: BEIR VI, 1999 pág. 117). Los riesgos de la exposición residencial de RDP se estimaron por extrapolación de los estudios mineros. Ahora, sin embargo, hay más de 20 estudios de casos y controles de exposición residencial al radón y cáncer de pulmón.

2.2.6. Efectos Biológicos por inhalación de radón

El principal efecto biológico derivado de la inhalación de radón y especialmente de sus productos de desintegración es el riesgo de cáncer de pulmón. El radón, como tal, no es retenido de forma significativa en el tracto respiratorio. Es decir, un 90% de sus descendientes puede estar unido a partículas de aerosoles presentes en el aire, las cuales, en función de su tamaño, pueden ser retenidas a distintos niveles del sistema respiratorio. Una pequeña fracción respirable alcanza las zonas más sensibles del tejido bronquial y pulmonar, depositándose allí, juntamente con el 10% restante de los productos de desintegración. La localización de estas partículas, junto con estos productos genera una fuente emisoras alfa. En consecuencia, una parte de este tejido recibe una exposición elevada, aumentando la posibilidad de desarrollar cáncer. La dosis recibida en el pulmón por radiación alfa es elevada (Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1988 Report to the General Assembly, with annexe, 1988 págs. 186-232).

Es así que, existen dos vías por las que el radón ingresa al cuerpo humano, inhalación e ingestión. En éste estudio nos centraremos en el análisis de radón en aire. A continuación, se describe mediante un diagrama de flujo la fuente y vías de exposición a la radiación generada por los productos de desintegración del radón.

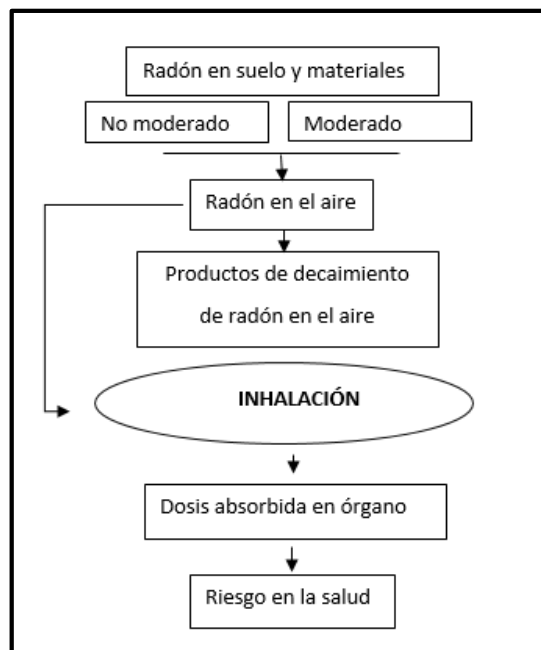


Figura 4-2: Fuentes de Radón y vías de exposición

..... por inhalación a la radiación

Fuente: (National Research Council, 1999: pp. 59). Risk Assessment of Radon in Drinking Water

Inhalación

Cuando el gas radón es inhalado, los productos del radón se unen al tejido pulmonar y administran una dosis de radiación al tejido circundante. Los riesgos biológicos por la exposición al radón surgen de la inhalación de los productos de desintegración del radón (PDR). Las partículas generas por los PDR se unen al aerosol, recorren las vías respiratorias y se asientan en las células blanco del epitelio bronquial por lo que el cáncer de pulmón asociado a la exposición al radón y sus productos de descomposición es broncogénico (UNSCEAR, 2006: pp. 12-13).

2.3. Técnicas de Medida de radón en aire

Para determinar la concentración de radón y de sus descendientes en aire existen distintas técnicas. La elección entre unos u otros dependerá del costo y por la duración de la medida a efectuar. Es así que, la medida de la concentración de radón presente en un ambiente determinado radica en el conteo de partículas alfa emitidas no solo por el radón sino también por sus descendientes de vida corta. Es importante distinguir si el método a utilizar mide la concentración de gas radón o alguna otra característica de los productos de decaimiento del radón. En los dos casos las técnicas pueden dividirse como activas o pasivas según se emplee o no aire forzado para la captación de la muestra. Es posible distinguirlas, en función del tiempo de muestreo:

2.4. Equipo para monitoreo de radón utilizado en la investigación

Alpha E

Es un dispositivo de medición pasivo para detectar y registrar la concentración, exposición y dosis de radón (ver ANEXO A), (ver Figura 1-3), sus características principales se expresan en la Tabla 1-3. Cuenta con la calibración correspondiente, mostrada en el (ANEXO B).

Se basa en el principio de difusión con un detector de silicio, el gas radón se difunde a través de los orificios de entrada que se encuentran en la coraza hacia el interior de la cámara de difusión. Los agujeros están completamente cubiertos por una membrana denominada Gore-Tex. Solo el gas radón puede ingresar a la cámara mientras los productos de decaimiento del radón como el polonio, plomo, y bismuto, son retenidos por la membrana.

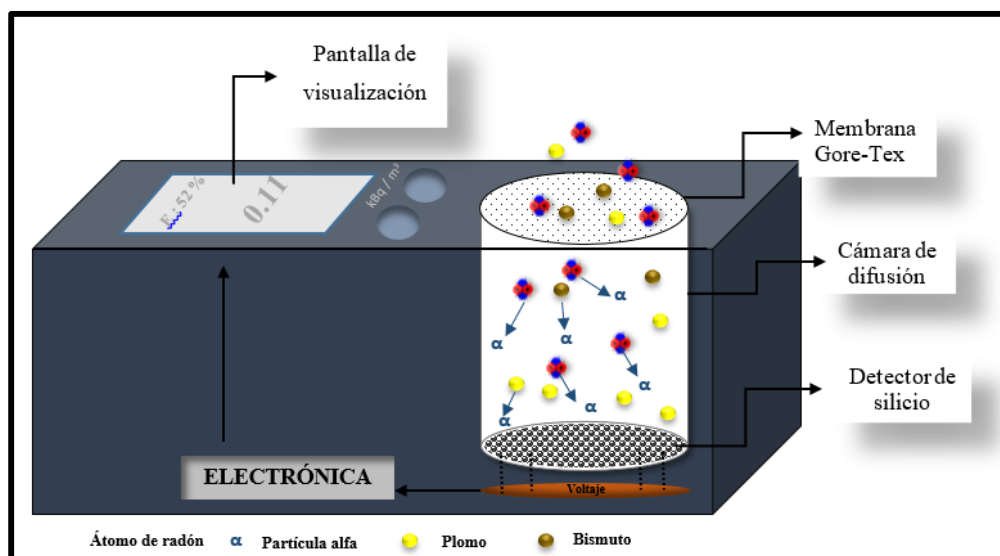


Figura 5-2: Funcionamiento y elementos de control del ALPHA-E

Fuente: Guapizaca, C, 2018. (Implementación de un método de detección del gas ^{222}Rn en agua proveniente de las vertientes naturales del volcán Carihuairazo).

Mecanismo de detección

Durante la desintegración del ^{222}Rn se emite radiación alfa misma que es registrada por el detector de silicio y pulsos de voltaje generados por el mismo que se amplifican, se cuentan, se convierten a las unidades requeridas y se almacenan por el controlador de acuerdo con el ciclo de medición predefinido. Sin embargo, junto con la descomposición de ^{222}Rn también sus progenies alfa emisoras se desarrollan en el interior de la cámara y se separan en sus paredes. La radiación alfa causada por las progenies de radón cuando se descompone es proporcional a la concentración ^{222}Rn dentro de la cámara. Su contribución a la radiación representa la mayor parte de la señal y, en consecuencia, se considera mediante el algoritmo de evaluación y el factor de calibración.

Descripción

Además del valor de las mediciones discretas derivadas de los conteos acumulados en el transcurso del ciclo de medición respectivo, se presenta una media flotante que es calculada de forma permanente, almacenada y siempre presente en la pantalla del dispositivo. El instrumento posee un sensor de inmersión para medir la temperatura del aire, la humedad y la presión, así como para registrar los eventos de choque y reubicación. Estos valores también se almacenan junto con los datos radiológicos y sirven para un análisis exhaustivo, especialmente de la dosis.

Tabla 4-2: Características del equipo ALPHA-E.

Principio de detección	Cámara de difusión con diodo de silicio
Unidad de medida	SI(Bq/m ³) o US (pCi/l)
Rango de medidas	20 Bq/m ³ ... 10M Bq/m ³ (0,54 pCi/l ... 270 000 pCi/l)
Eficiencia del detector Sensibilidad	3cph a 100 Bq/m ³ (2,7 pCi/l)
Rango de dosis	0 ... 1 Sv (0 ... 10 rem)
Límite inferior de detección	100 Bq/m ³ (2,7 pCi/l) en 12 hrs
Ciclo de medición	1-12 hrs (ajustable)
Constante de tiempo de difusión	1 ... 2 hrs (para llegar al 90% del valor final)
Rango de temperatura a la que opera	-20 ... 50 °C (-4 ... 122 °F)

Fuente: Guapizaca, C, 2018. (Implementación de un método de detección del gas ²²²Rn en agua proveniente de las vertientes naturales del volcán Carihuairazo).

Realizado por: Caty Santillán, 2018

2.5. Descripción del área de estudio

La Provincia de Chimborazo que se encuentra dentro de la Zona 3 de Ecuador, consta de 5 Distritos Educativos Guano-Penipe, Colta-Guamote, Pallatanga-Cumandá, Chunchi-Alausí y nuestro campo de estudio Chambo-Riobamba, éste distrito abarca 112 instituciones fiscales, 75 particulares, 13 fiscomisionales y cuentan con 57012 estudiantes (ver ANEXO C) (Educación, 2015 págs. 6-9).

Las 23 Unidades Educativas seleccionadas para el presente estudio fueron tomadas dentro de un muestreo por conveniencia y se encuentran localizadas en el cantón Riobamba, Chambo, Licto y Cacha y se detalla a continuación (ver ANEXO D).

Unidades Educativas con Infraestructura Antigua

Estas Unidades Educativas fueron edificadas entre 1815 y 1970, frecuentadas por alumnos, padres de familia y personal administrativo. Los lugares de monitoreo se localizan en planta baja.

Unidad Educativa. San Felipe Neri

Esta Unidad Educativa, tiene 203 años de antigüedad, abarca 1600 estudiantes y está construida a base de hormigón mixto, adobe y piedra. Su abastecimiento de agua proviene de la RED EL SABOYA (pozos perforados Sector San Pablo) (EMAPAR, 2017 págs. 1-2).



Fotografía 1-2: UE San Felipe Neri-TEATRO.

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidad Educativa La Providencia

La Unidad Educativa, tiene 147 años de antigüedad, abarca 1000 estudiantes y está construida a base de hormigón y adobe. Su abastecimiento de agua proviene de la RED EL CARMEN (pozos perforados Sector San LLio) (EMAPAR, 2017 págs. 1-2).



Fotografía 2-2: UE La Providencia-TEATRO.

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidad Educativa Santa Mariana de Jesús

Esta Unidad Educativa, tiene 145 años de antigüedad, abarca 1400 estudiantes y está construida a base de hormigón mixto y adobe. Su abastecimiento de agua proviene de la RED SAN MARTÍN. (pozos perforados Sector San Pablo) (EMAPAR, 2017 págs. 1-2).



Fotografía 3-2: UE Santa Mariana de Jesús, TEATRO.

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidad Educativa San Vicente de Paúl

La Unidad Educativa, tiene 143 años de antigüedad, abarca 1350 estudiantes y está construida a base de adobe. El abastecimiento de agua proviene de la RED MALDONADO (pozos perforados Sector San LLio) (EMAPAR, 2017 págs. 1-2).



Fotografía 4-2: UE San Vicente de Paúl, TEATRO.

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidad Educativa La Salle

Ésta Unidad Educativa, tiene 102 años de antigüedad, abarca 1500 estudiantes y está construida a base de hormigón y adobe. Su abastecimiento de agua proviene de la RED EL SABOYA. (pozos perforados Sector San Pablo) (EMAPAR, 2017 págs. 1-2).



Fotografía 5-2: UE La Salle, AULA.

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidad Educativa Pedro Vicente Maldonado

La Unidad Educativa, tiene 91 años de antigüedad, abarca 2000 estudiantes y está construida en tres niveles de corte neoclásico de planta rectangular con patios interiores, corredores y amplios salones, compuesto por paredes de piedra y ladrillo, con entrepisos de hormigón y cubierta de losa a base de hormigón y adobe. El abastecimiento de agua proviene de la RED EL SABOYA. (EMAPAR, 2017 págs. 1-2).



Fotografía 6-2: UE Pedro Vicente Maldonado, SALÓN SESQUICENTENARIO.

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidad Educativa Carlos Cisneros

Ésta Unidad Educativa, tiene 82 años de antigüedad, abarca 2000 estudiantes y está construida a base de hormigón, adobe y ladrillo. La UE es frecuentada por alumnos, padres de familia y personal administrativo. Su abastecimiento de agua proviene de la RED SAN MARTÍN. (pozos perforados Sector San Pablo) (EMAPAR, 2017 págs. 1-2).



Fotografía 7-2: UE Carlos Cisneros, SALÓN DE COMPUTO.

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidad Educativa Juan de Velazco

La Unidad Educativa, tiene 78 años de antigüedad, abarca 1650 estudiantes y está construida a base de ladrillo, madera, hormigón y latón. La UE es frecuentada por alumnos, padres de familia y personal administrativo. El abastecimiento de agua proviene de la RED SAN MARTÍN. (EMAPAR, 2017 págs. 1-2).



Fotografía 8-2: UE Juan de Velazco, AUDITORIO.

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidad Educativa Riobamba

Ésta Unidad Educativa, tiene 77 años de antigüedad, abarca 1980 estudiantes y está construida a base de ladrillo y adobe. La UE es frecuentada por alumnos, padres de familia y personal administrativo. Su abastecimiento de agua proviene de la RED EL CARMEN. (pozos perforados Sector San LLio) (EMAPAR, 2017 págs. 1-2).



Fotografía 9-2: UE Riobamba, COLISEO.

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidad Educativa Isabel de Godin

La Unidad Educativa, tiene 34 años de antigüedad, abarca 3500 estudiantes y está construida a base de adobe, ladrillo y cubierta de losa. La UE es frecuentada por alumnos, padres de familia y personal administrativo. El abastecimiento de agua proviene de la RED MALDONADO (pozos perforados Sector San LLio) (EMAPAR, 2017 págs. 1-2).



Fotografía 10-2: UE Isabel de Godín, AULA MÚLTIPLE.

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidad Educativa Nuestra Señora de Fátima

Esta Unidad Educativa, tiene 68 años de antigüedad, abarca 1100 estudiantes y está construida a base de hormigón y adobe. Su abastecimiento de agua proviene de la RED EL CARMEN (pozos perforados Sector San LLio) (EMAPAR, 2017 págs. 1-2).



Fotografía 11-2: UE Nuestra Señora de Fátima, TEATRO.

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidad Educativa Miguel Ángel León Pontón

La Unidad Educativa, tiene 68 años de antigüedad, abarca 975 estudiantes y está construida a base losa, adobe y pisos de piedra. El abastecimiento de agua proviene de la RED EL SABOYA. (pozos perforados Sector San Pablo) (EMAPAR, 2017 págs. 1-2).



Fotografía 12-2: UE Miguel Ángel León Pontón, DECE.

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidad Educativa Capitán Edmundo Chiriboga

Esta Unidad Educativa, tiene 48 años de antigüedad, abarca 1785 estudiantes y está construida a base de ladrillo y adobe. Su abastecimiento de agua proviene de la RED MALDONADO (pozos perforados Sector San LLio) (EMAPAR, 2017 págs. 1-2).



Fotografía 13-2: UE Capitán Edmundo Chiriboga, AULA.

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidad Educativa Jhon F. Kennedy

La Unidad Educativa, tiene 48 años de antigüedad, abarca 600 estudiantes y está construida a base de adobe y hormigón. El abastecimiento de agua proviene de la RED EL SABOYA (pozos perforados Sector San Pablo) (EMAPAR, 2017 págs. 1-2).



Fotografía 14-2: UE Jhon F. Kennedy, INSPECCIÓN.

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidades Educativas con Infraestructura Moderna

Las Unidades Educativas fueron edificadas entre 1975 y 2005, frecuentadas por alumnos, padres de familia y personal administrativo. Los lugares de monitoreo están ubicados en la planta baja.

Unidad Educativa Fernando Daquilema

Ésta Unidad Educativa, tiene 40 años de antigüedad, abarca 1110 estudiantes y está construida a base de ladrillo y hormigón. Su abastecimiento de agua proviene de la RED MALDONADO (pozos perforados Sector San LLio) (EMAPAR, 2017 págs. 1-2).



Fotografía 15-2: UE Fernando Daquilema, AULA.

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidad Educativa Amelia Gallegos Días

La Unidad Educativa, tiene 38 años de antigüedad, abarca 1475 estudiantes y está construida a base de adobe y hormigón. El abastecimiento de agua proviene de la RED MALDONADO (pozos perforados Sector San LLio) (EMAPAR, 2017 págs. 1-2).



Fotografia 16-2: UE Amelia Gallegos, RECTORADO.

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidad Educativa Licto

Ésta Unidad Educativa, tiene 43 años de antigüedad, abarca 425 estudiantes y está construida a base de adobe, ladrillo, hormigón y arena de río. Su abastecimiento de agua proviene de LA FUENTE DE AGUA EL CARRIZAL (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, 2015 págs. 2-5).



Fotografia 17-2: UE Licto, RECTORADO.

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidad Educativa Santo Tomás Apóstol

La Unidad Educativa, tiene 30 años de antigüedad, abarca 1350 estudiantes y está construida a base de adobe. El abastecimiento de agua proviene de LA RED TAPI (pozos perforados Sector San Pablo) (EMAPAR, 2017 págs. 1-2).



Fotografía 18-2: UE Santo Tomás Apóstol, RECTORADO.

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidad Educativa Combatientes de Tapi

Ésta Unidad Educativa, tiene 30 años de antigüedad, abarca 1350 estudiantes y está construida a base de ladrillo y bloque. Su abastecimiento de agua proviene de LA RED TAPI (pozos perforados Sector San Pablo) (EMAPAR, 2017 págs. 1-2).



Fotografía 19-2: UE Combatientes de Tapi,
SALA DE REUNIONES.

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidad Educativa Leopoldo Freire

La Unidad Educativa, tiene 32 años de antigüedad, abarca 300 estudiantes y está construida a base de ladrillo y bloque. El abastecimiento de agua proviene de LA FUENTE DE AGUA DE GUALLANCHI (EDUCANET, 2017 págs. 1-3).



Fotografía 20-2: UE Leopoldo Freire, RECTORADO.

Realizado por: Santillán, C. 201

Unidad Educativa Mercedes Amelia Gallegos

Ésta Unidad Educativa, tiene 18 años de antigüedad, abarca 100 estudiantes y está construida a base de ladrillo y bloque. Su abastecimiento de agua proviene de LA FUENTE DE AGUA DE GUALLANCHI (EDUCANET, 2017 págs. 1-3).



Fotografía 21-2: UE Mercedes Amelia Gallegos, RECTORADO.

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidad Educativa Manuel Chili

La Unidad Educativa, tiene 18 años de antigüedad, abarca 50 estudiantes y está construida a base de ladrillo y bloque (GADM, 2015 págs. 1-28). El abastecimiento de agua proviene de la vertiente CUNUK PUGYO (GADM, 2015 págs. 1-28).



Fotografía 22-2: UE Manuel Chili, AULA.

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidad Educativa Intercultural Bilingüe Shiry Cacha

Esta Unidad Educativa, tiene 15 años de antigüedad, abarca 225 estudiantes y está construida a base de ladrillo y bloque (GADM, 2015 págs. 1-28). Su abastecimiento de agua proviene de Vertiente de PUCA LOMA (GADM, 2015 págs. 1-28).



Fotografía 23-2:UE Intercultural Bilingüe Shiry Cacha, AULA.

Realizado por: Santillán, C. 2018

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

3.2. Identificación y clasificación de las unidades Educativas de la ciudad de Riobamba

La clasificación se realizó en base a la información pertinente en el Ministerio de Educación del Distrito Chambo-Riobamba y se usó información geográfica (Plano Base de Riobamba, Dirección de Planificación del Municipio de Riobamba, realizado por el Arq. Edwin Cruz, Lámina 01; Plano Censal de la Cabecera Cacha, INEC, 2010, Código 060151, Código 060151, revisado por Freddy Jimenez; Plano Censal de la Cabecera Chambo, INEC, 2010, Código 060450, revisado por Freddy Jimenez; , Plano Censal de la Cabecera Licto, INEC, 2009, Código 060156, revisado por Freddy Jimenez).

3.3. Criterios de selección para el lugar de muestreo

Es importante que los puntos de monitoreo de radón de cada Unidad Educativa del distrito de educación 06D01 Chambo-Riobamba se tome en cuenta:

- Lugar cerrado
- Ubicado en la planta baja
- Tipo de Material de Construcción
- Tráfico de personas

3.4. Monitoreo

El equipo seleccionado para el monitoreo es un dispositivo pasivo que utiliza una cámara de difusión con un detector de silicio denominado ALPHA-E, que cuenta con la calibración correspondiente (ver ANEXO B), la configuración del equipo utilizada para este estudio es la siguiente:

- Rango de toma de medidas: 3600s
- Unidad de lectura: Bq/m³

Se debe ubicar el equipo de monitoreo tomando en cuenta el lugar menos propenso a accidentes.

La campaña de monitoreo se lleva a cabo durante 8 días para las UE más antiguas hasta 1970, y cada 4 días para las más modernas, con un detector pasivo ALPHA-E Radon Meter (Bertin Inst., Frankfurt Am Main, Alemania).

3.5. Obtención de Datos

El dispositivo de monitoreo cuenta con un software (*DATA VIEW*) que permite la descarga y visualización de los datos recopilados (*concentración de radón, temperatura, presión, humedad, dosis ambiental, intervalo de tiempo, media flotante de radón y factor equilibrio*).

Visualizamos los datos del *DATA VIEW* a la herramienta de cálculo *EXCEL 2016* para analizar el promedio del radón flotante, su desviación estándar y su incertidumbre.

En el Software *ORIGIN-PRO2016*, realizamos un análisis de los siguientes datos: tiempo, concentración de radón, error absoluto, temperatura, promedio de radón flotante, desviación estándar e incertidumbre, los cuales mediante una gráfica observamos el comportamiento del radón en base a la variación de la temperatura.

3.6. Cálculo de dosis equivalente anual por inhalación de radón

Utilizando el valor medio de la concentración de actividad de radón, un factor de equilibrio equivalente a 0.4, el coeficiente de transferencia 10^{-4} y el factor de conversión 9×10^{-9} Sv/Bqm⁻³h se obtiene una dosis efectiva debida a la inhalación de radón para cada una de las Unidades Educativas.

3.7. Elaboración del Mapa de Dosis

La elaboración del mapa de dosis se realizó ubicando las Unidades Educativas en los planos de los cantones Chimborazo, Cacha, Licto y Chambo y resaltando con escala de colores los valores de dosis efectiva por inhalación de radón desde el más alto hasta el más bajo. (Ver Anexos E, F, G, H)

- Rojo (> 500) Bq/m³
- Naranja (300-500) Bq/m³
- Amarillo (300-100) Bq/m³
- Verde (<100) Bq/m³

CAPITULO IV

4. Análisis y discusión de resultados

Las Unidades Educativas del Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba para la visualización de resultados se clasificó por infraestructura moderna y antigua, se realizaron tablas cada una con sus características físicas y datos más representativos, también graficas donde se puede observar la variabilidad día-noche de la concentración de radón.

4.2. Identificación y clasificación de los resultados

Las características físicas más representativas de las Unidades Educativas con infraestructura antigua del Distrito de Educación 06D01 Chambo Riobamba se presentan en la tabla 1-4. Las Unidades Educativas fueron ordenadas cronológicamente desde la edificación más antigua considerándolas desde 1815 a 1970, teniendo un material de construcción en común el adobe y situados en el cantón Riobamba.

Las características físicas más distintivas en las Unidades Educativas con infraestructura moderna se muestran en la tabla 2-4, estas fueron ordenadas cronológicamente a partir del año 1975 hasta 2005.

Tabla 1-4: Características físicas de las Unidades Educativas Distrito Chambo-Riobamba con infraestructura antigua.

UNIDADES EDUCATIVAS	Año de construcción	Material de construcción	Cantón	Lugar de Monitoreo	Abastecimiento de Agua
U.E SAN FELIPE NERI	1815	Hormigón mixto, piedra y adobe	Riobamba	Teatro	RED EL SABOYA
U.E LA PROVIDENCIA	1871	Hormigón y adobe	Riobamba	Teatro	RED EL CARMEN
U.E SANTA MARIANA DE JESUS	1873	Hormigón mixto y adobe	Riobamba	Teatro	RED SAN MARTÍN
U.E SAN VICENTE DE PAUL	1875	Adobe	Riobamba	Teatro	RED MALDONADO

U.E LA SALLE	1916	Hormigón y adobe	Riobamba	Aula	RED EL SABOYA
U.E PEDRO VICENTE MALDONADO	1927	Piedra, ladrillo, hormigón y cubierta de losa	Riobamba	Salón Sesquicentenario	RED EL SABOYA
U.E CARLOS CISNEROS	1936	Adobe, ladrillo y hormigón	Riobamba	Salón de Computo	RED SAN MARTÍN
U.E JUAN DE VELASCO	1940	Ladrillo, madera, hormigón, latón	Riobamba	Auditorio	RED SAN MARTÍN
U.E RIOBAMBA	1941	Adobe y ladrillo	Riobamba	Coliseo	RED EL CARMEN
U.E ISABEL DE GODIN	1948	Adobe, ladrillo y cubierta de losa.	Riobamba	Aula Múltiple	RED MALDONADO
U.E NUESTRA SEÑORA DE FATIMA	1950	Hormigón y adobe	Riobamba	Teatro	RED EL CARMEN
U.E MIGUEL ANGEL LEON PONTON	1950	Losa, adobe y pisos de piedra	Riobamba	Departamento de Consejería Estudiantil	RED EL SABOYA.
U.E CAPTÁN EDMUNDO CHIRIBOGA	1970	Ladrillo y adobe	Riobamba	Aula	RED MALDONADO
U.E JOHN F. KENNEDY	1970	Adobe y hormigón	Riobamba	Inspección	RED EL SABOYA

Realizado por: Santillán, C. 2018

Tabla 2-4: Características físicas de las Unidades Educativas Distrito Chambo-Riobamba con infraestructura moderna.

UNIDADES EDUCATIVAS	Año de construcción	Material de construcción	Cantón	Lugar de Monitoreo	Abastecimiento de Agua
U.E LICTO	1975	Adobe, ladrillo, hormigón y arena de río	Licto	Rectorado	Fuente de agua el carrizal
U.E FERNANDO DAQUILEMA	1978	Ladrillo, hormigón	Riobamba	Aula	Red maldonado
U.E AMELIA GALLEGOS DIAZ	1980	Adobe y hormigón	Riobamba	Rectorado	Red maldonado
UNIDAD EDUCATIVA "LEOPOLDO FREIRE"	1986	Adobe	Chambo	Rectorado	Fuente de agua de guallanchi
U.E SANTO TOMÁS APÓSTOL	1988	Adobe	Riobamba	Rectorado	LA RED TAPI
U.E COMBATIENTES DE TAPI	1995	Ladrillo y bloque	Riobamba	Sala de Reuniones	LA RED TAPI
U.E MERCEDES AMELIA GALLEGOS	2000	Ladrillo	Chambo	Rectorado	Fuente de agua de guallanchi
U.E MANUEL CHILI	2000	Bloque y ladrillo	Cacha	Aula	CUNUK PUGYO
U.E.I.B SHIRY CACHA	2005	Bloque	Cacha	Aula	PUCA LOMA

Realizado por: Santillán, C. 2018

4.3. Concentración del gas radón (^{222}Rn)

Las concentraciones de radón en las Unidades Educativas del Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba se presentan en las tablas 3-4 y 4-4 de infraestructura moderna y antigua respectivamente. Las concentraciones varían en media desde 7.741 Bq/m³ hasta 355.479 Bq/m³ en construcciones con infraestructura antigua y desde 7.442 Bq/m³ hasta 25.52 Bq/m³ en construcciones con infraestructura moderna. La media aritmética para las construcciones antiguas en un rango de datos que va desde 7.741 Bq/m³ a 80.739 Bq/m³, excluyendo 355.479 Bq/m³ que corresponde a la Unidad Educativa San Felipe Neri, es de 29.457 Bq/m³ con una desviación estándar de 20.509 Bq/m³. La media aritmética para las construcciones modernas es de 18.062 Bq/m³ con una desviación estándar de 6.483 Bq/m³.

El dato con la dispersión más alta para construcciones antiguas corresponde a la U.E la Salle con una concentración de radón de 23.042 Bq/m³ y una desviación estándar de 25.009 Bq/m³. El dato con la dispersión más alta para construcciones modernas corresponde a la U.E Manuel Chilli con una concentración de radón de 24.68 Bq/m³ y una desviación estándar de 47.816 Bq/m³.

Tabla 3-4: Resumen Estadístico de los datos de Concentración de radón de la evaluación exploratoria de las U.E con infraestructura antigua

UNIDADES EDUCATIVAS	MA	SD	σ_{MA}	GM	GSD	DE	σ_{DE}
U.E SAN FELIPE NERI	355,469	80,825	6,273	345	19,674	2,55	0,0452
U.E PEDRO VICENTE MALDONADO	80,739	29,941	2,345	75,002	1,491	0,58	0,0169
U.E SAN VICENTE DE PAUL	60,822	44,001	3,436	43,102	2,617	0,44	0,0247
U.E JOHN F. KENNEDY	35,925	20,102	2,403	30,396	1,83	0,259	0,0173
U.E SANTA MARIANA DE JESUS	33,123	25,586	2,118	25,623	2,072	0,24	0,0152
U.E NUESTRA SEÑORA DE FÁTIMA	29,031	16,787	1,299	24,828	1,764	0,208	0,0094
U.E JUAN DE VELASCO	25,889	13,903	1,419	21,729	1,904	0,187	0,0102
U.E LA SALLE	23,042	25,009	1,709	15,008	2,783	0,17	0,0123
U.E MIGUEL ANGEL LEON PONTON	22,557	15,19	1,151	17,048	2,341	0,166	0,0083
U.E RIOBAMBA	21,869	11,2	1,319	18,547	1,902	0,158	0,0095
U.E ISABEL DE GODIN	18,97	13,063	1,032	13,995	2,462	0,14	0,0074
U.E LA PROVIDENCIA	12,511	9,671	1,109	8,413	2,783	0,094	0,0079
U.E CAPTÁN EDMUNDO CHIRIBOGA	10,725	8,565	0,913	7,053	2,827	0,079	0,0066
U.E CARLOS CISNEROS	7,741	7,612	0,798	4,404	3,357	0,058	0,0057

Realizado por: Santillán, C. 2018

Tabla 4-4: Resumen Estadístico de los datos de Concentración de radón de la evaluación exploratoria de las U.E con infraestructura moderna

UNIDADES EDUCATIVAS	MA	SD	σ_{MA}	GM	GSD	DE	σ_{DE}
U.E “MERCEDES AMELIA GALLEGOS”	25,519	14,792	1,404	20,96	1,694	0,115	0,01
U.E "LEOPOLDO FREIRE"	25,435	13,183	1,599	22,123	1,727	0,18	0,012
U.E MANUEL CHILI	24,68	47,816	5,674	13,347	2,9	0,178	0,041
U.E LICTO	20,093	12,593	0,104	15,173	1,718	0,144	0,001
U.E.I.B SHIRY CACHA	17,925	13,685	1,672	11,649	3,006	0,18	0,012
U.E AMELIA GALLEGOS DIAZ	16,308	16,215	1,924	10,737	2,728	0,115	0,014
U.E FERNANDO DAQUILEMA	13,6	10,301	1,025	9,415	2,15	0,1008	0,007
U.E COMBATIENTES DE TAPI	11,551	10,822	1,322	7,513	2,712	0,086	0,01
U.E ‘SANTO TOMAS APOSTOL’	7,442	6,697	0,789	3,833	4,313	0,0504	0,006

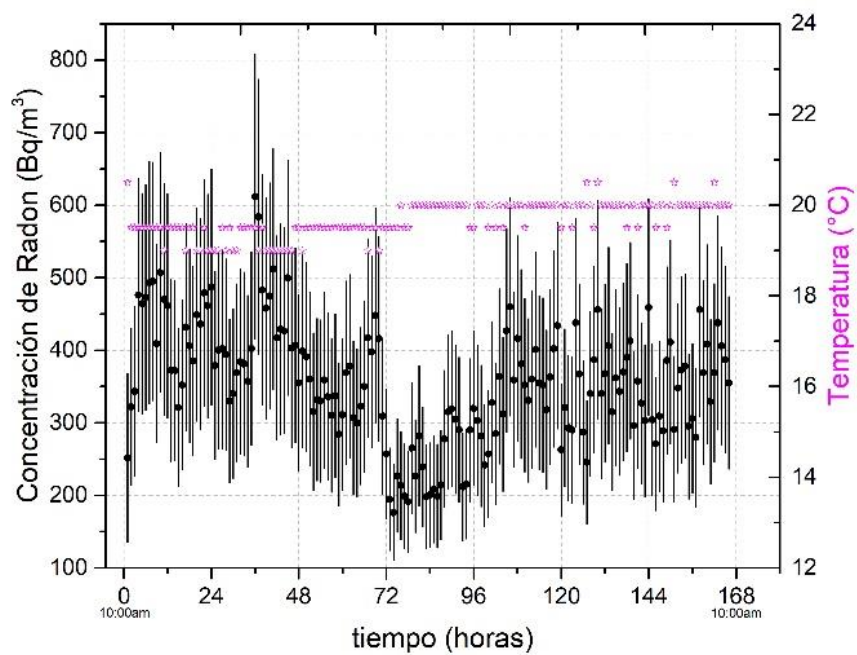
Realizado por: Santillán, C. 2018

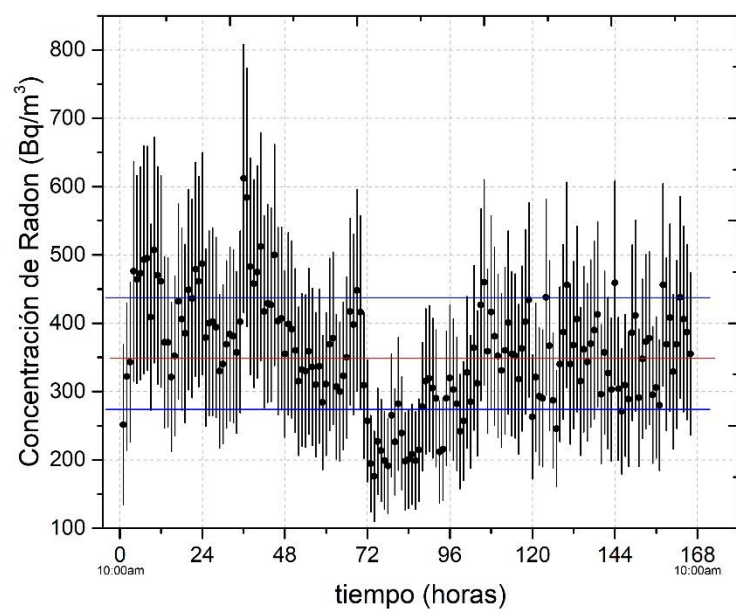
4.4. Variación de la Concentración gas radón (^{222}Rn)

La variación de la concentración de radón en las Unidades Educativas del Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba se presentan desde la gráfica 1-4 hasta la 1-16 para infraestructura antigua, mostrando el efecto día-noche. Desde las gráficas 1-17 hasta la 1-23 corresponden a las Unidades Educativas con infraestructura moderna, teniendo muy bajo el efecto día-noche.

Unidades Educativas con Infraestructura Antigua

4.4.2. Unidad Educativa San Felipe Neri

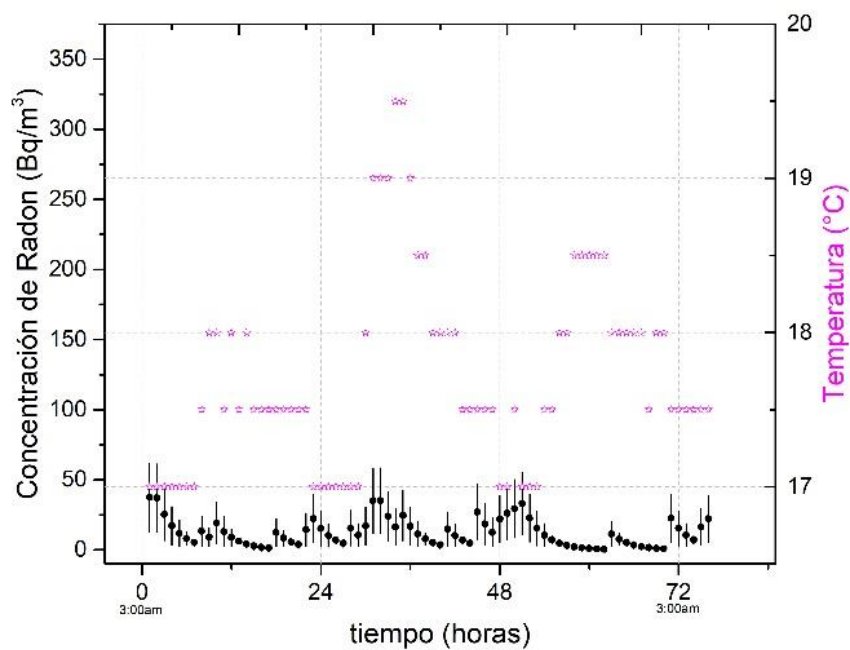


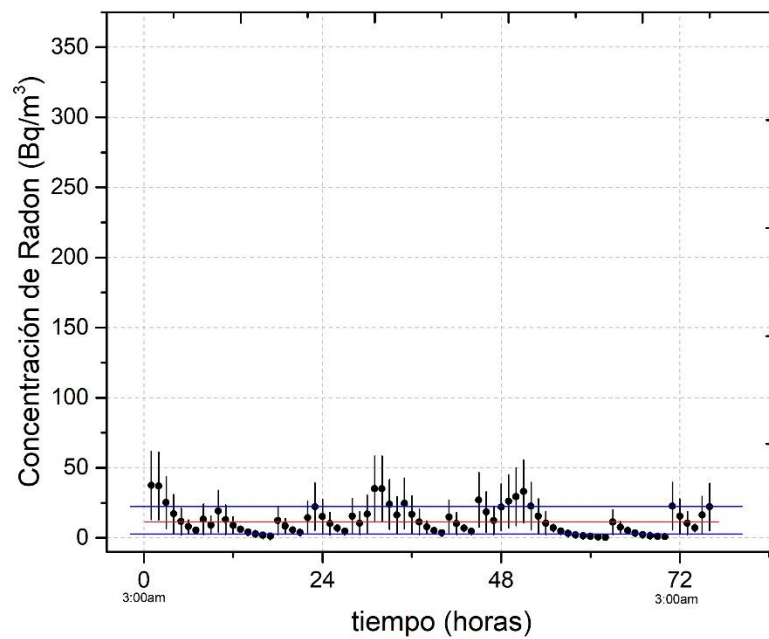


Gráfica 14-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE San Felipe Neri

Realizado por: Santillán, C. 2018

4.4.3. Unidad Educativa La Providencia

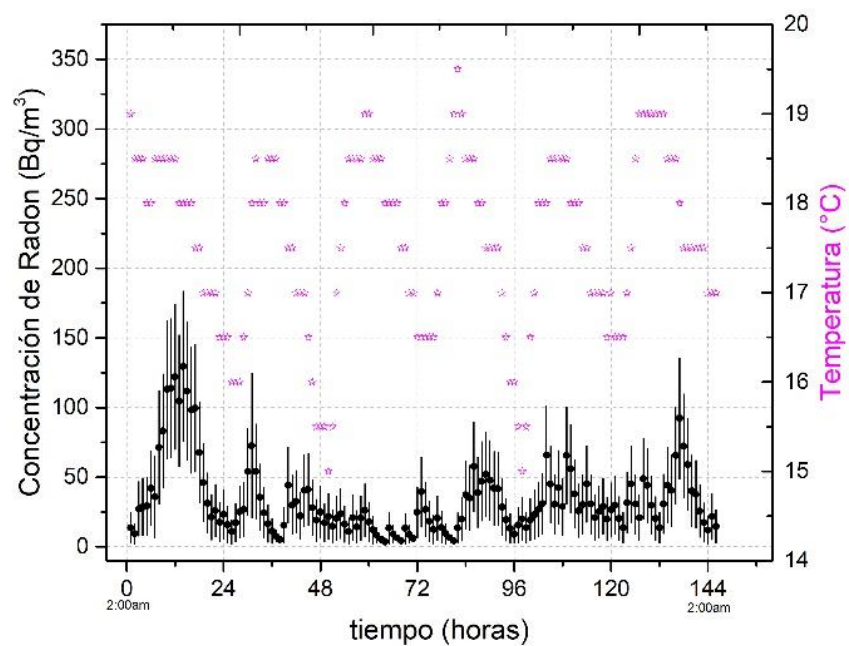


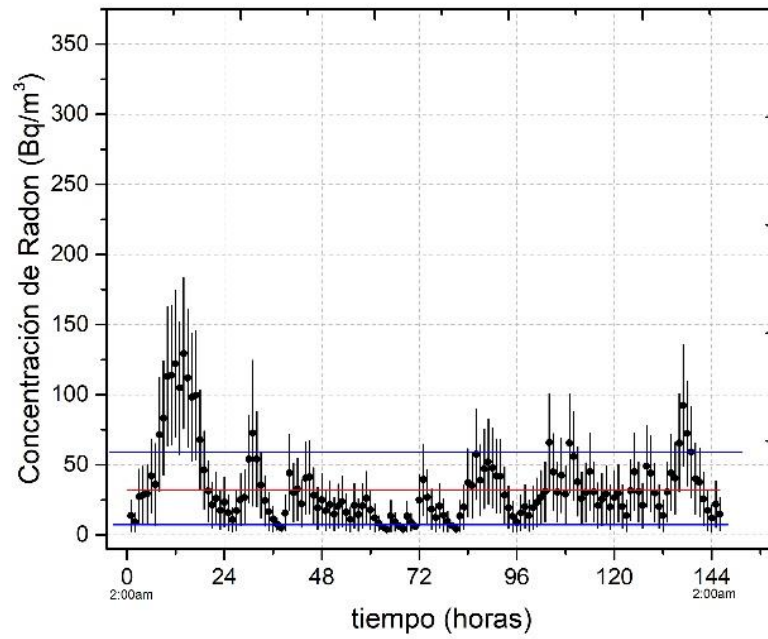


Gráfica 15-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE La Providencia

Realizado por: Santillán, C. 2018

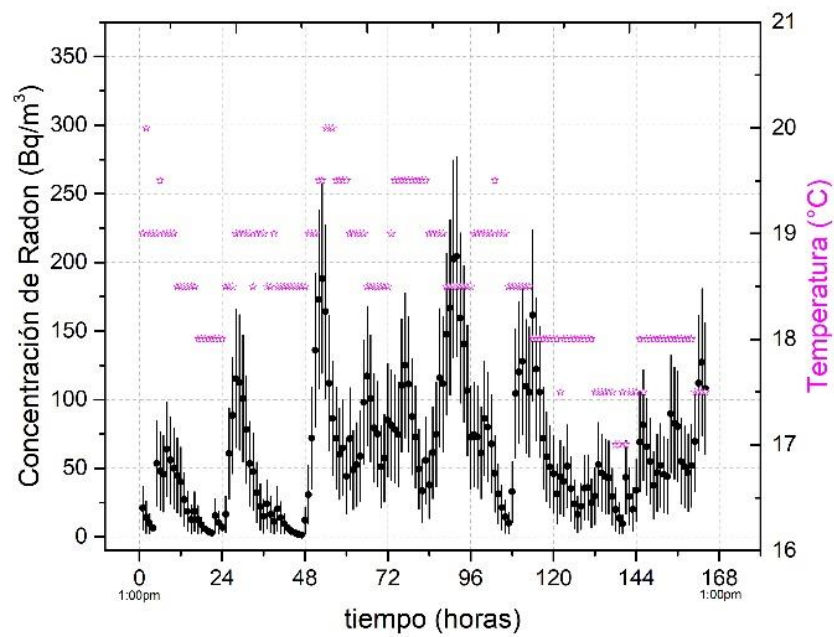
4.4.4. Unidad Educativa Santa Mariana de Jesús

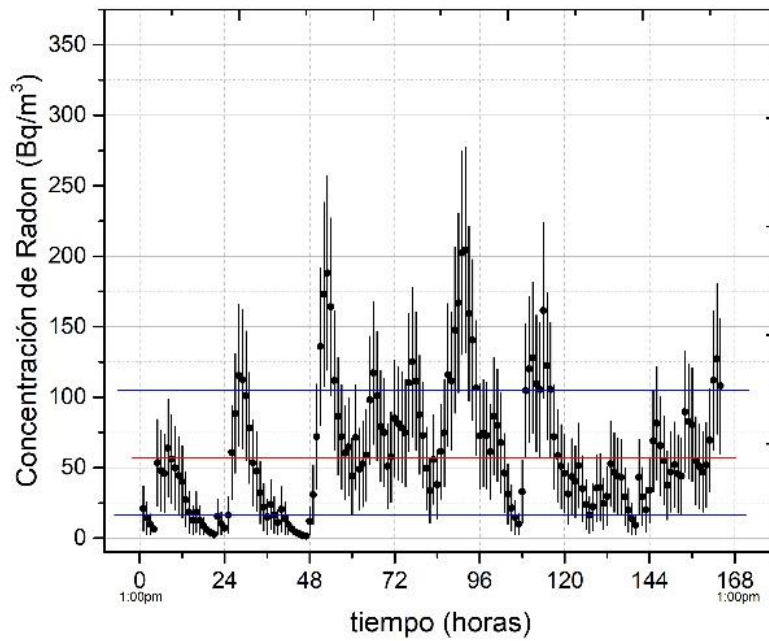




Gráfica 16-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Santa Mariana de Jesús
 Realizado por: Santillán, C. 2018

4.4.5. Unidad Educativa San Vicente de Paúl

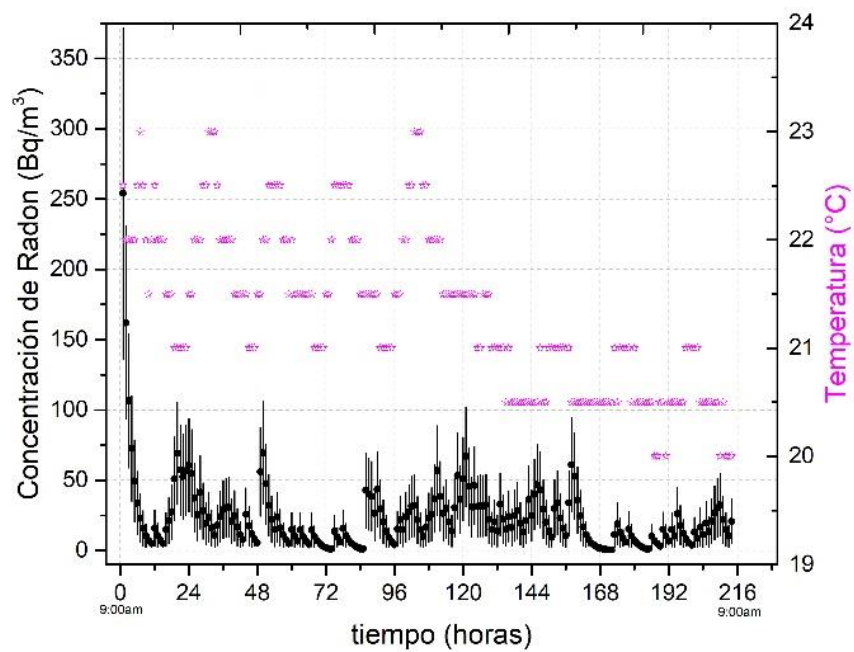


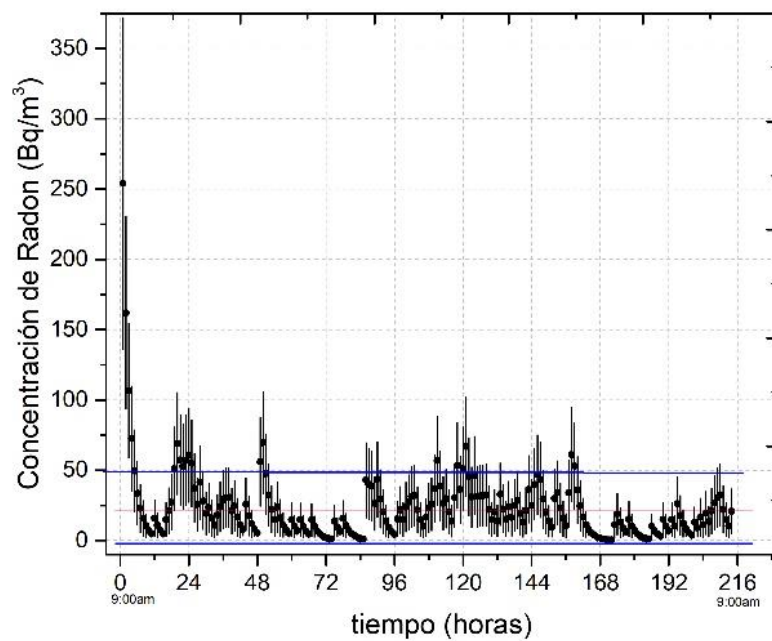


Gráfica 17-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE San Vicente de Paúl

Realizado por: Santillán, C. 2018

4.4.6. Unidad Educativa La Salle



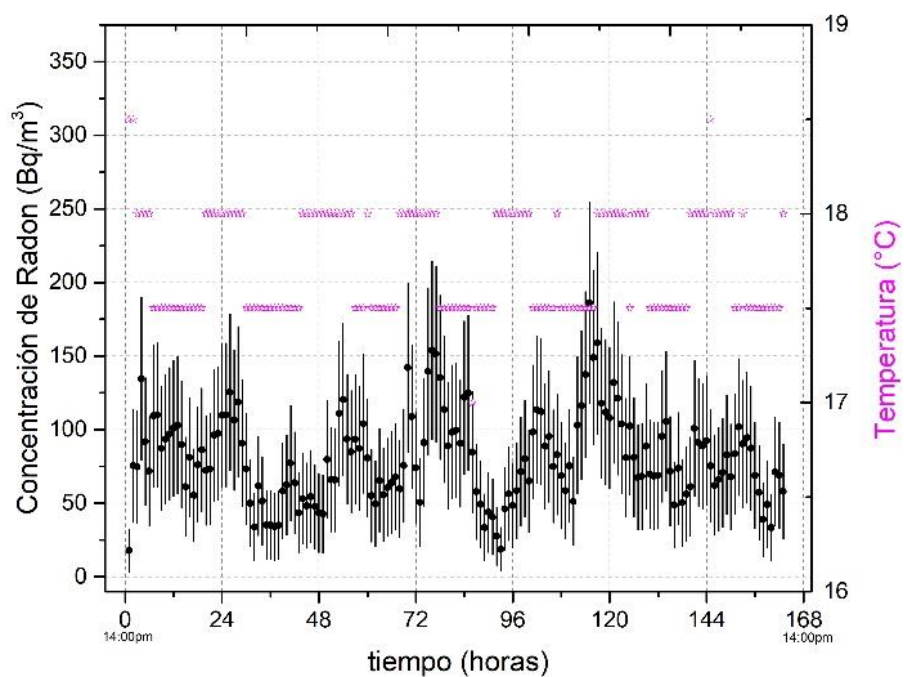


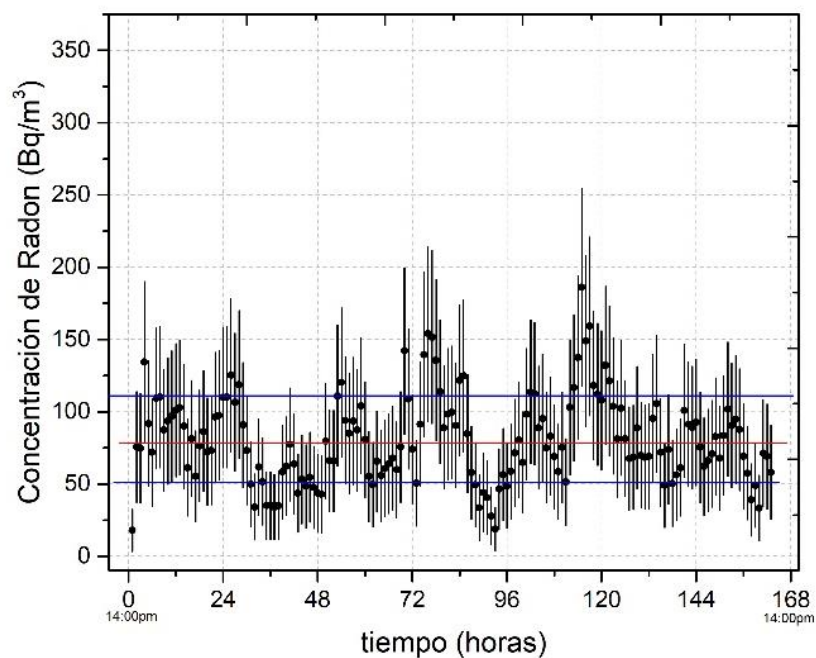
Gráfica 18-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas

^{222}Rn en la UE La Salle

Realizado por: Santillán, C. 2018

4.4.7. Unidad Educativa Pedro Vicente Maldonado

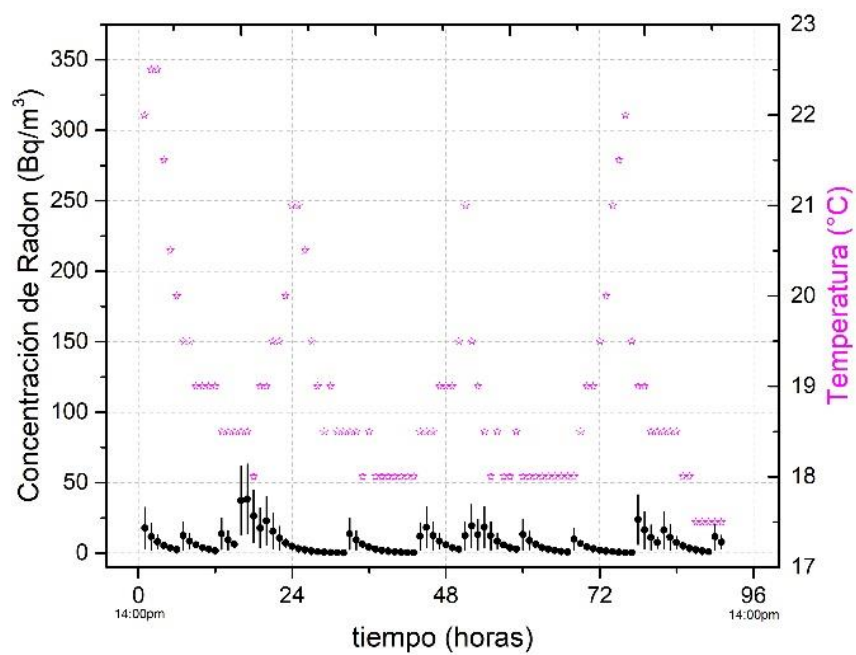


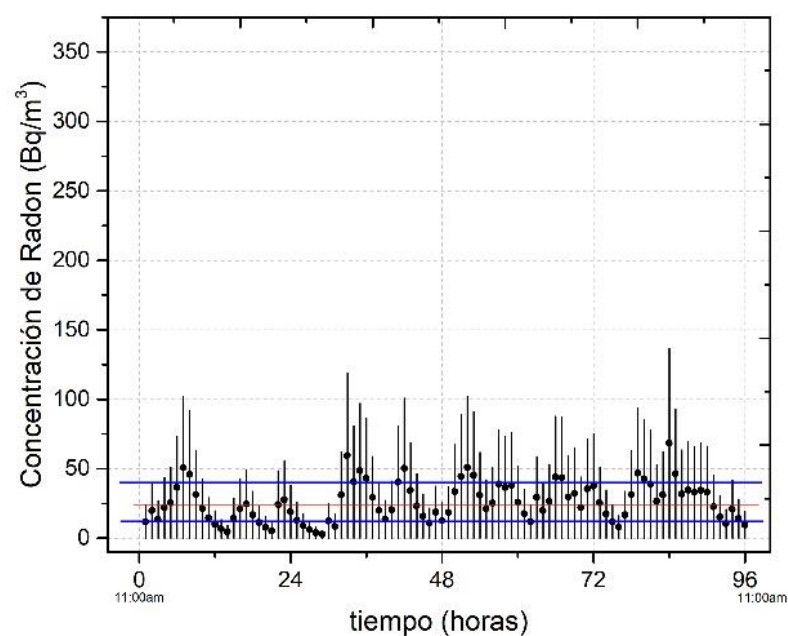


Gráfica 19-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Pedro Vicente Maldonado

Realizado por: Santillán, C. 2018

4.4.8. Unidad Educativa Carlos Cisneros

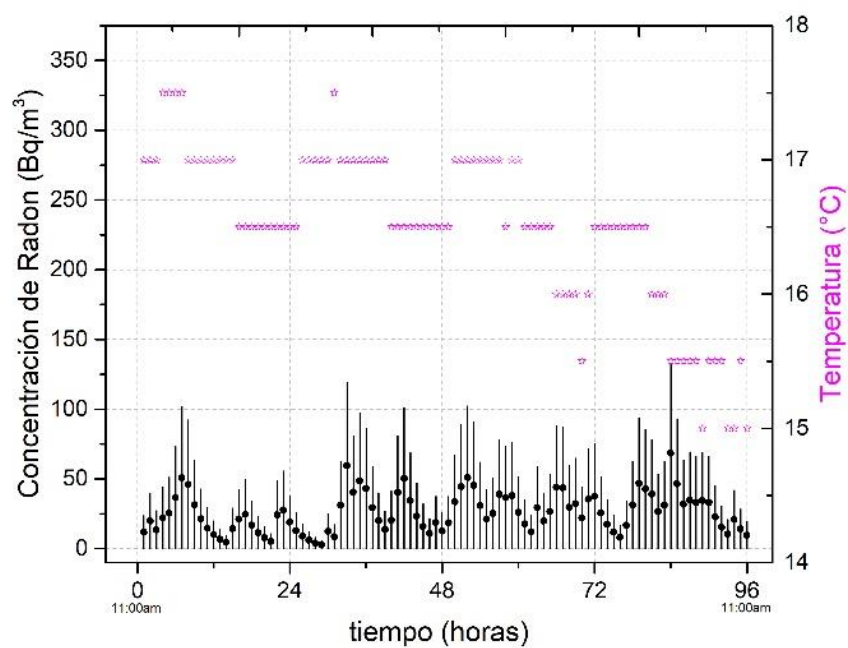


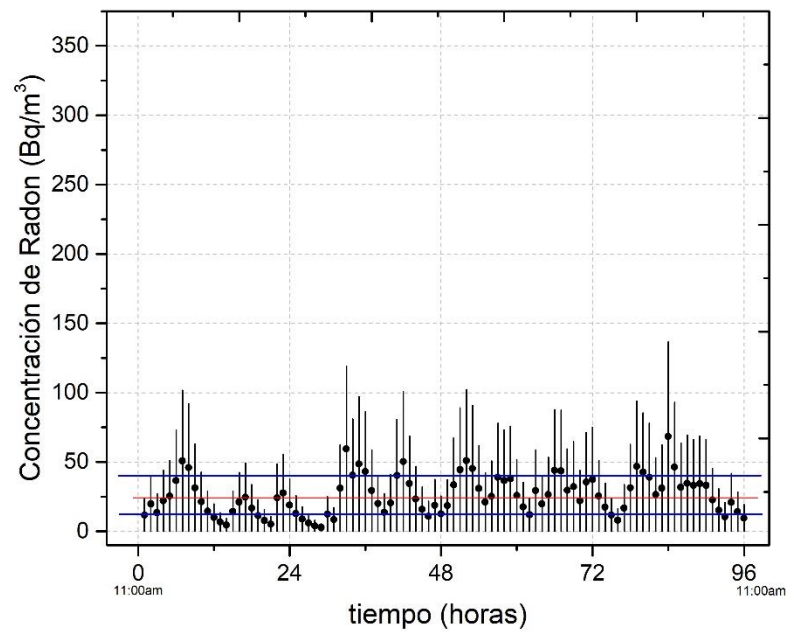


Gráfica 7-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Carlos Cisneros

Realizado por: Santillán, C. 2018

4.4.9. Unidad Educativa Juan de Velazco

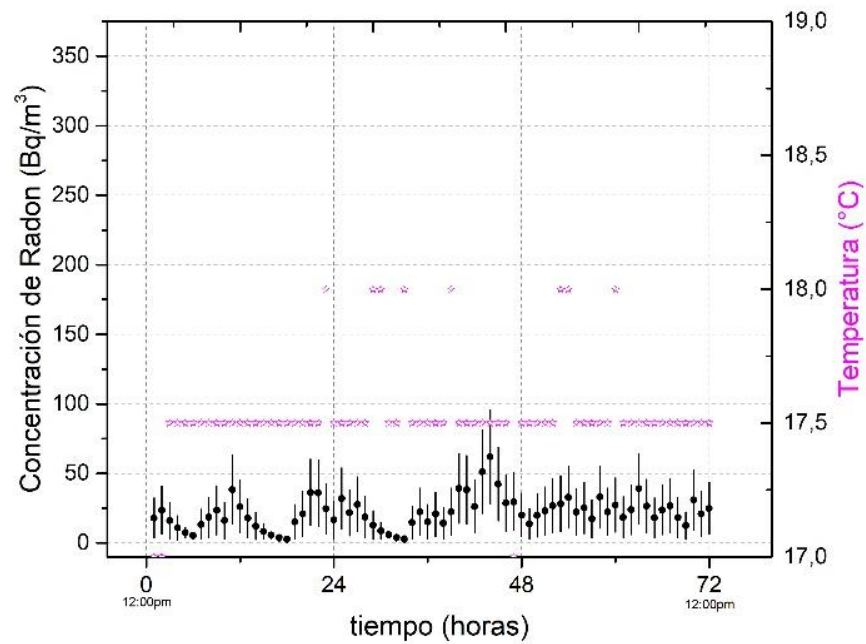


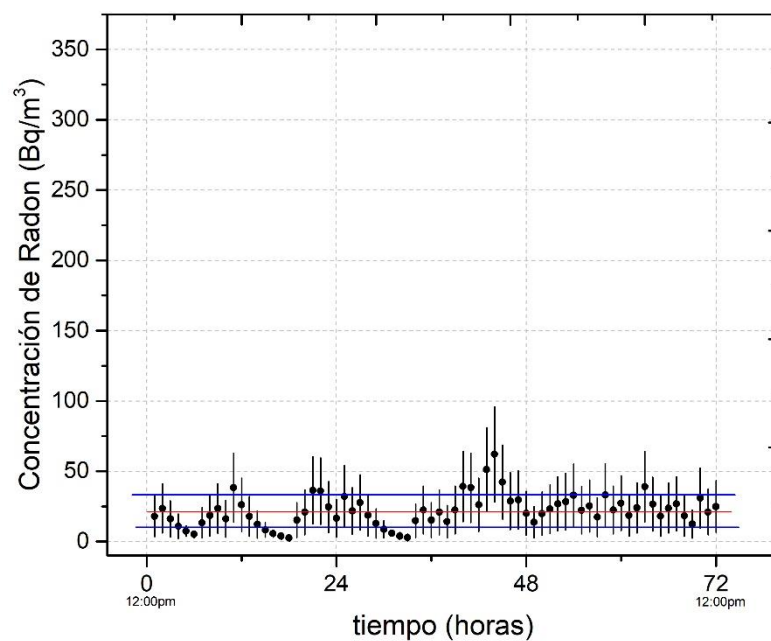


Gráfica 8-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Juan de Velazco

Realizado por: Santillán, C. 2018

4.4.10. Unidad Educativa Riobamba



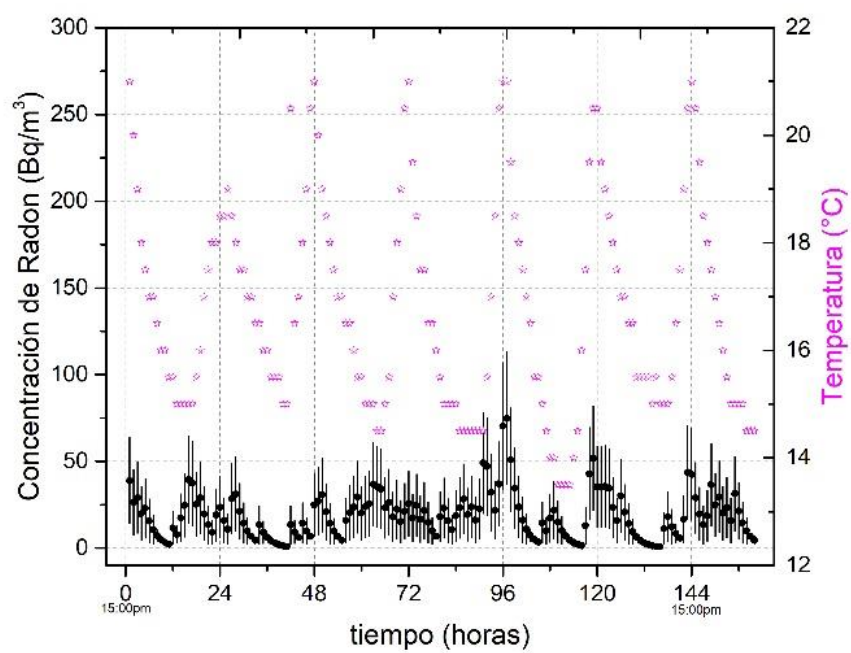


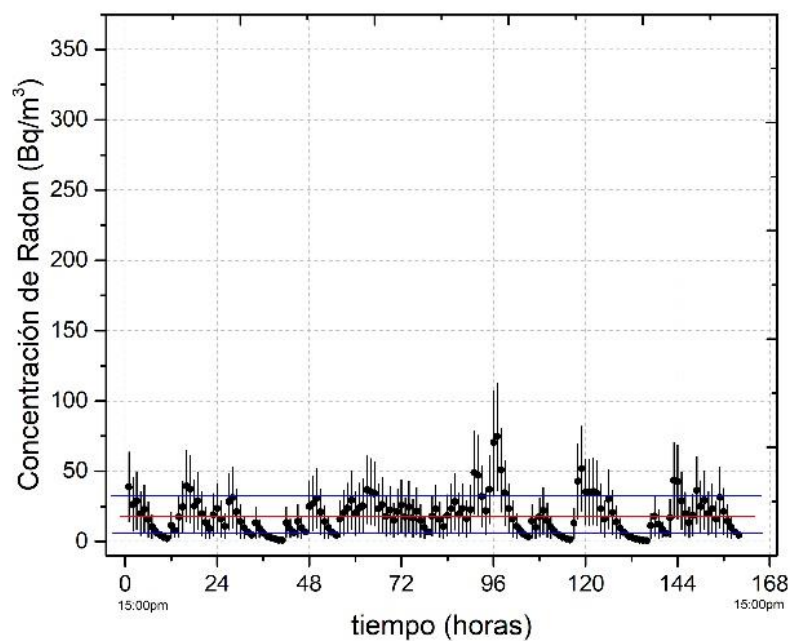
Gráfica 9-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas

^{222}Rn en la UE Riobamba

Realizado por: Santillán, C. 2018

4.4.11. Unidad Educativa Isabel de Godin



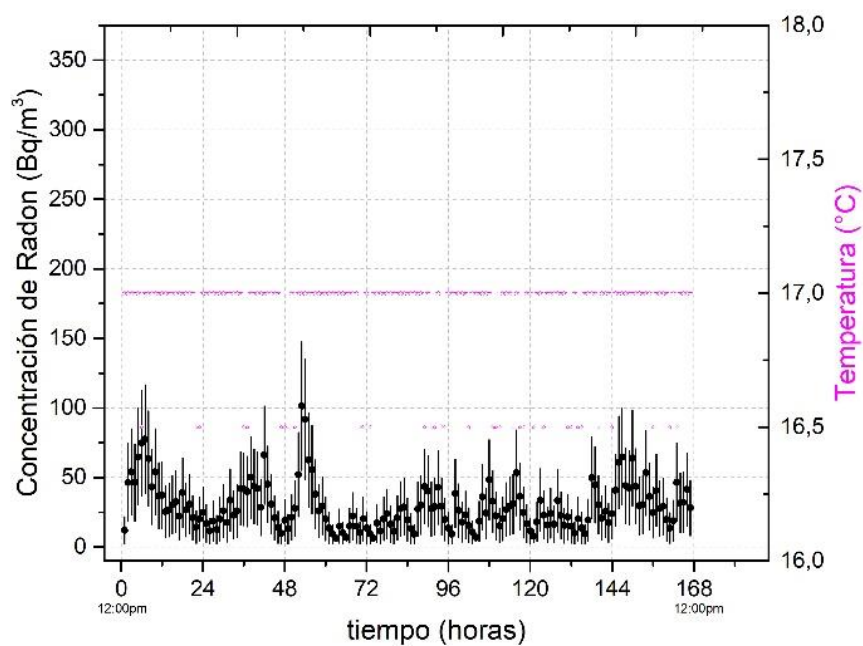


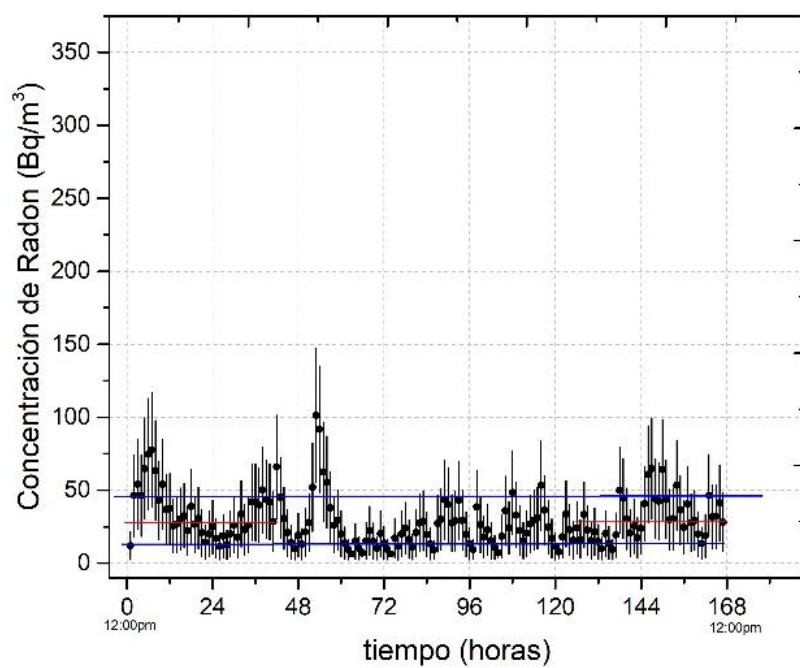
Gráfica 10-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas

²²²Rn en la UE Isabel de Godín

Realizado por: Santillán, C. 2018

4.4.12. Unidad Educativa Nuestra Señora de Fátima

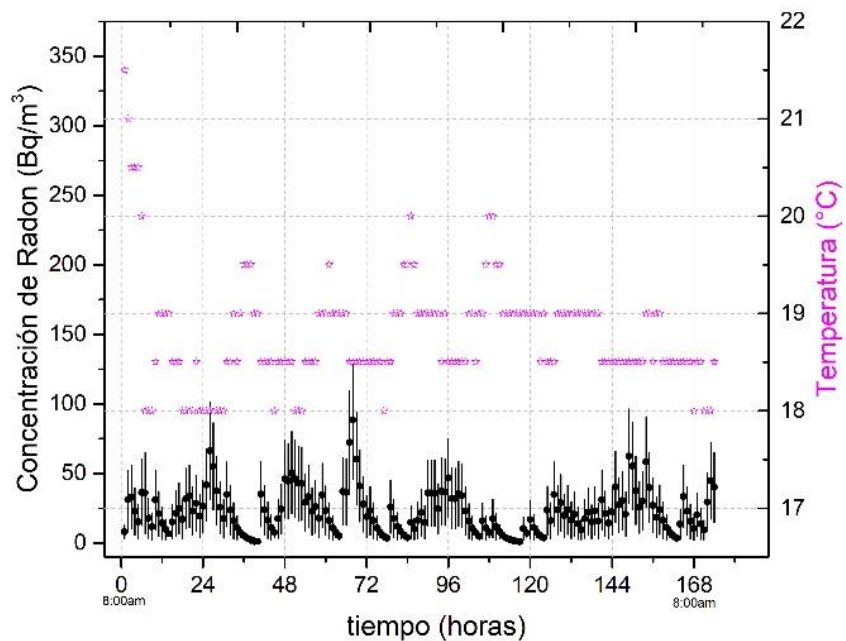


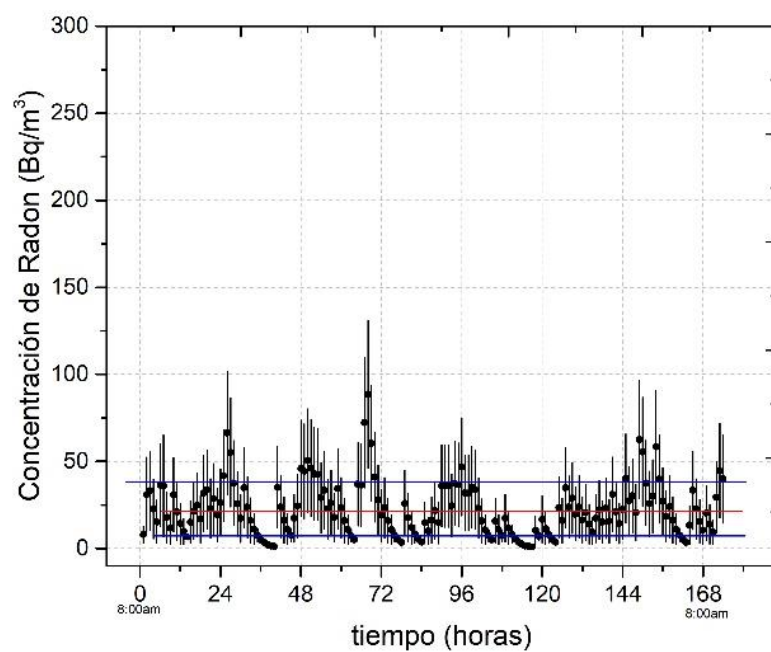


Gráfica 11-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Nuestra Señora de Fátima

Realizado por: Santillán, C. 2018

4.4.13. Unidad Educativa Miguel Angel León Ponton



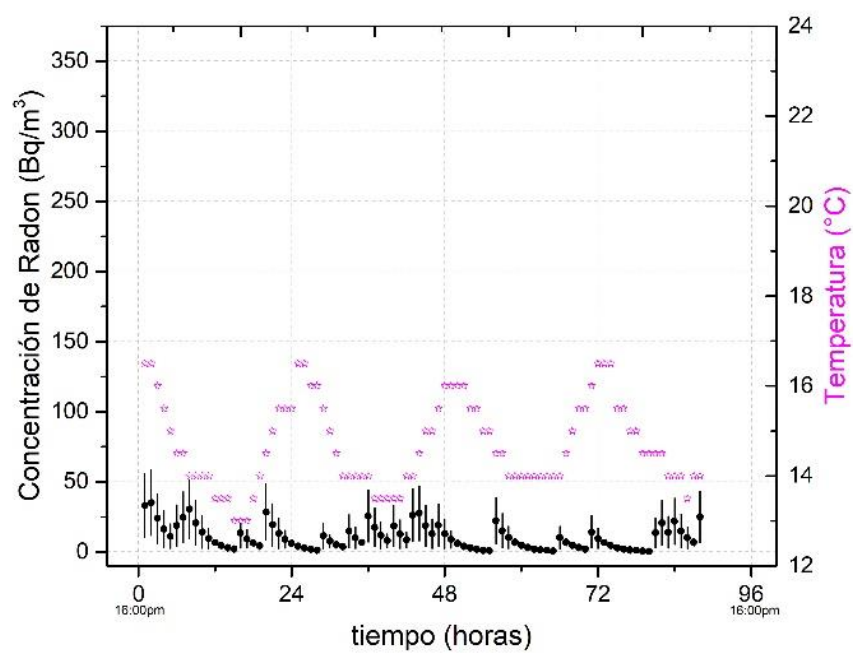


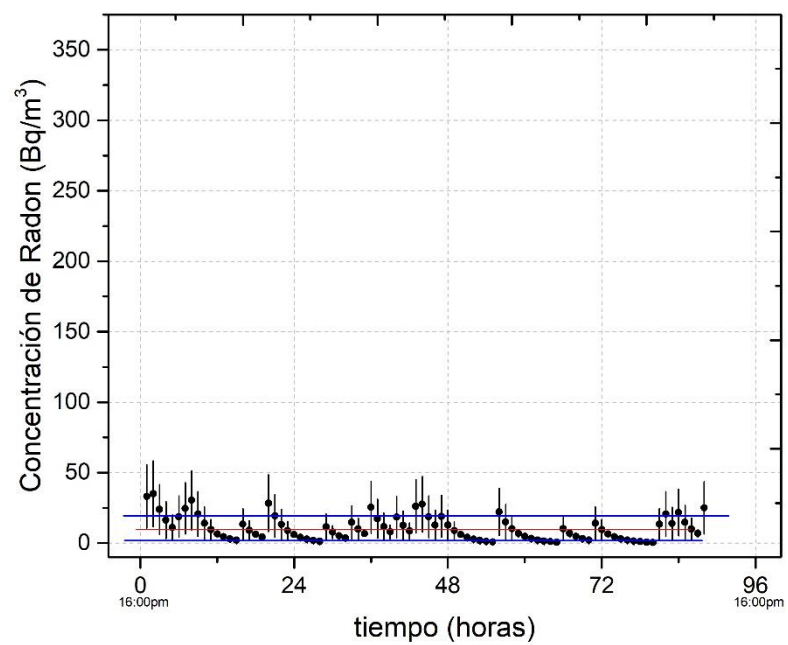
Gráfica 20-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas

^{222}Rn en la UE Miguel Ángel León

Realizado por: Santillán, C. 2018

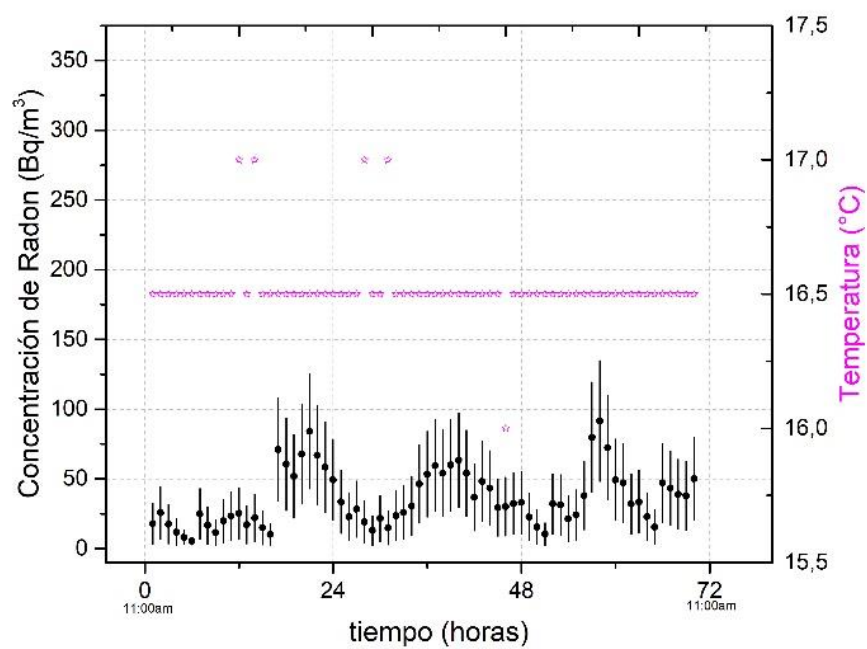
4.4.14. Unidad Educativa Capitán Edmundo Chiriboga

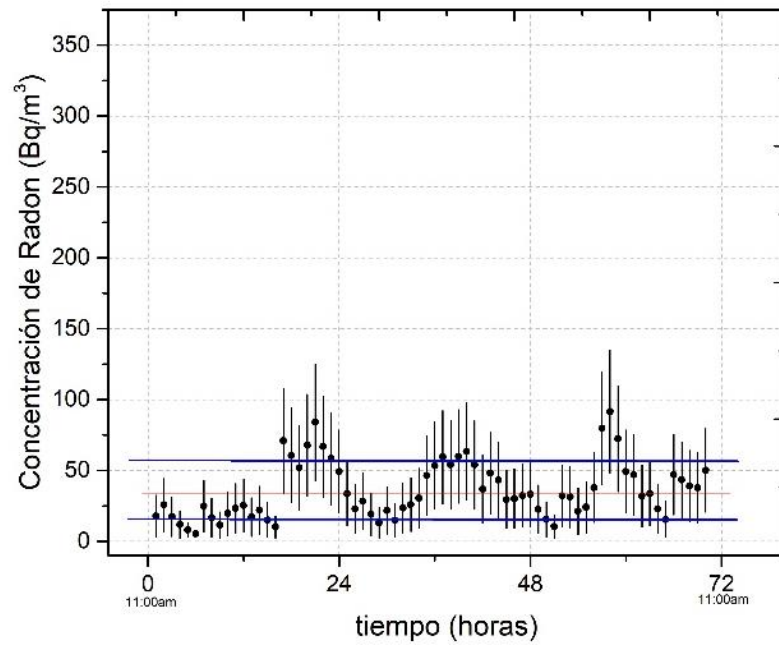




Gráfica 21-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Capitán Edmundo Chiriboga
Realizado por: Santillán, C. 2018

4.4.15. Unidad Educativa Jhon F. Kennedy



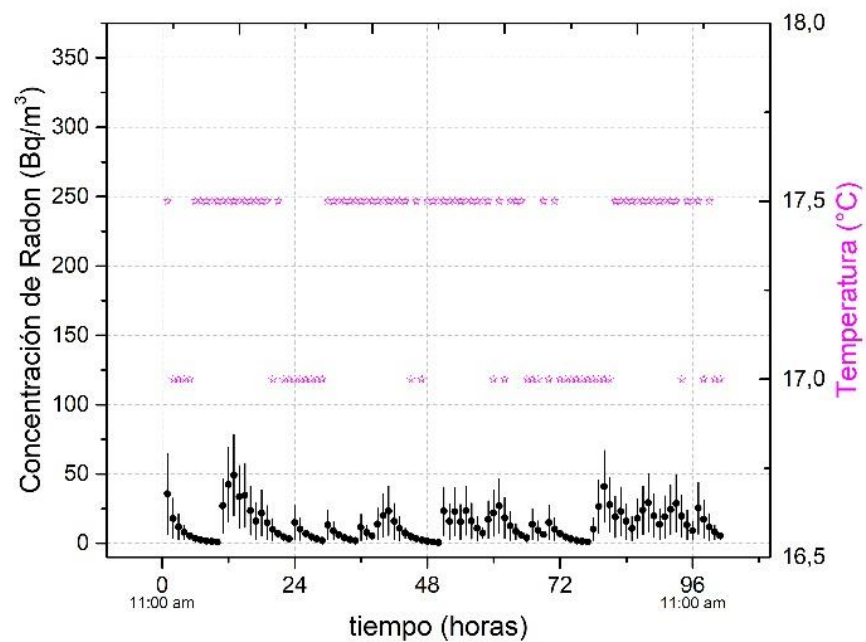


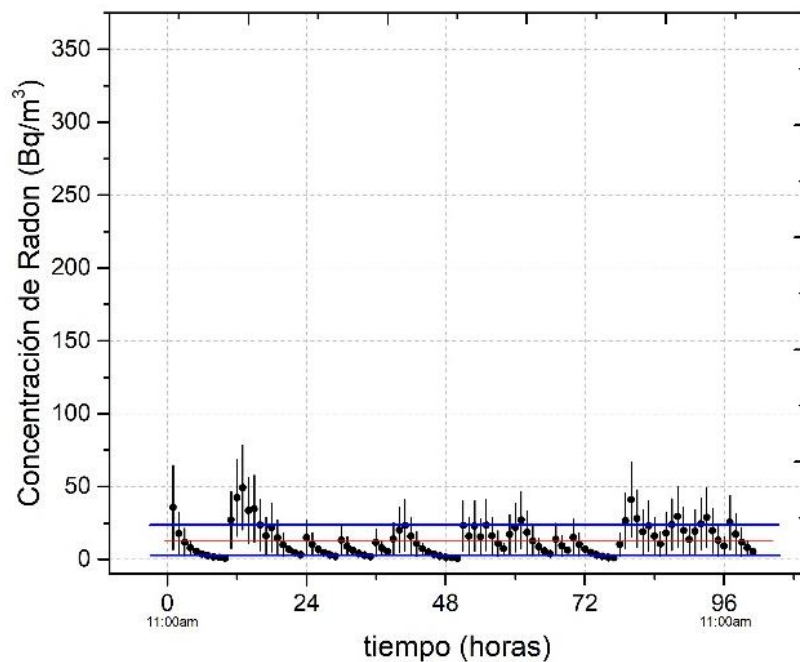
Gráfica 22-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Jhon F. Kennedy

Realizado por: Santillán, C. 2018

Unidades Educativas con Infraestructura Moderna

4.4.16. Unidad Educativa Fernando Daquilema

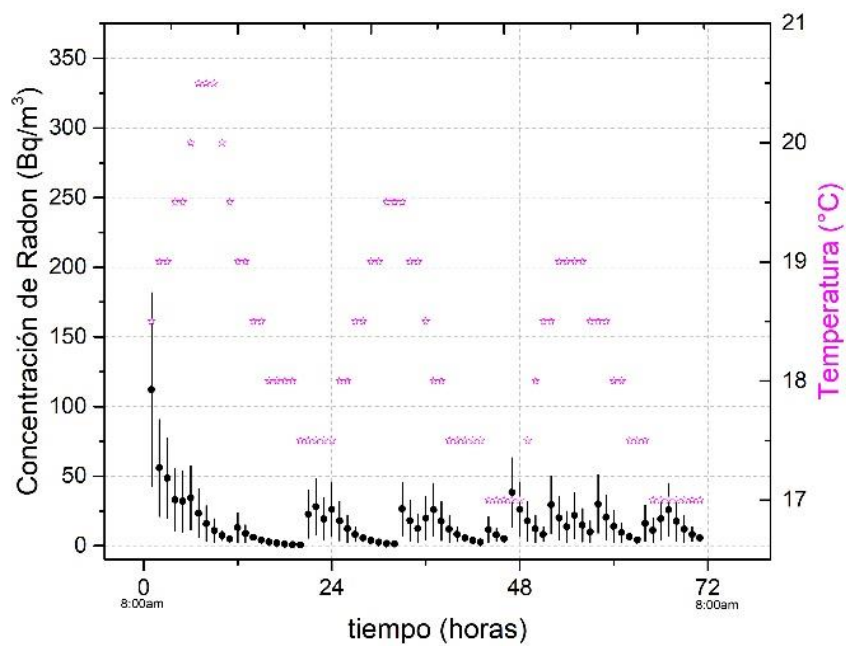


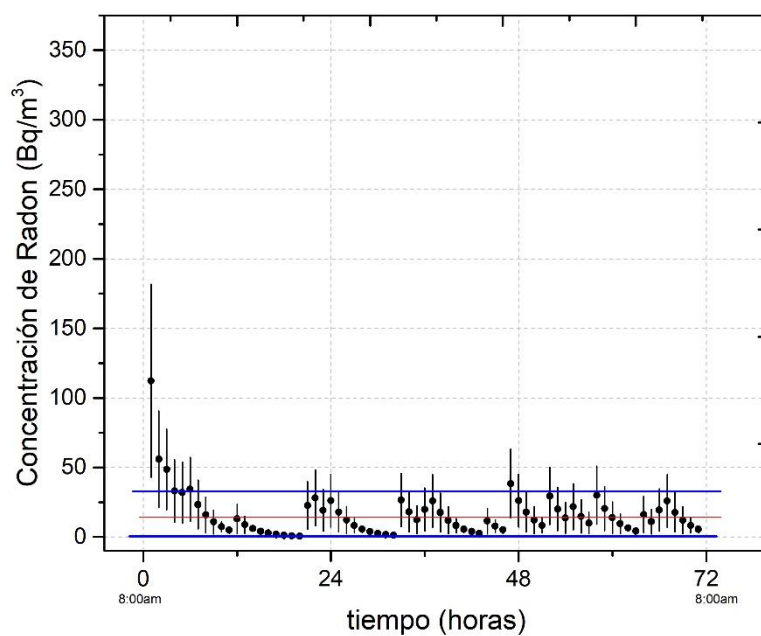


Gráfica 23-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ²²²Rn en la UE Fernando Daquilema

Realizado por: Santillán, C. 2018

4.4.17. Unidad Educativa Amelia Gallegos Días



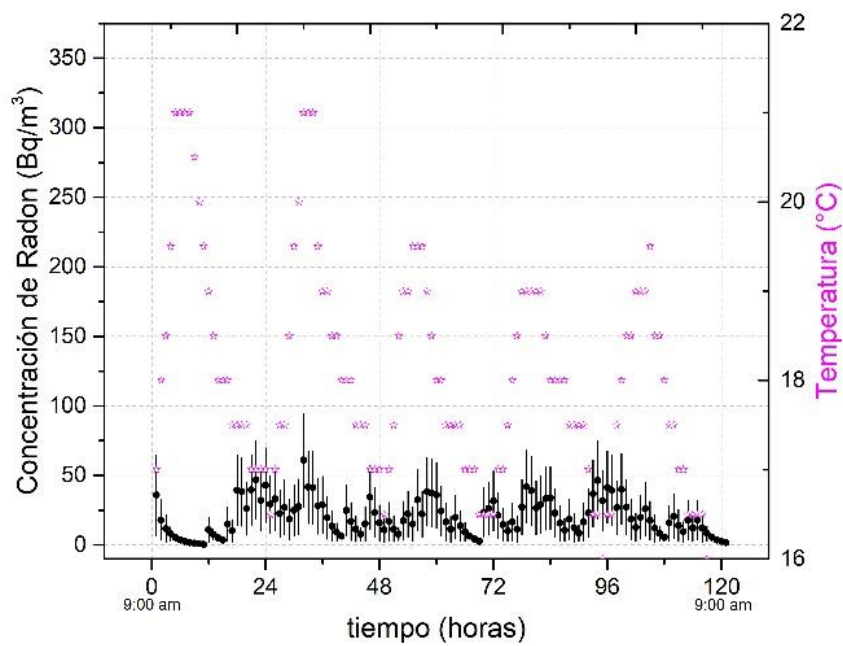


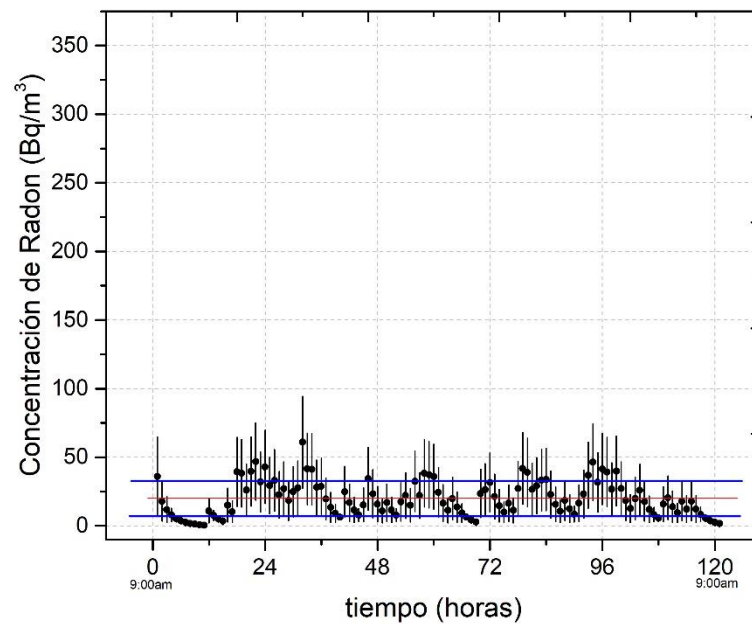
Gráfica 246-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas

²²²Rn en la UE Amelia Gallegos Díaz

Realizado por: Santillán, C. 2018

4.4.18. Unidad Educativa Licto

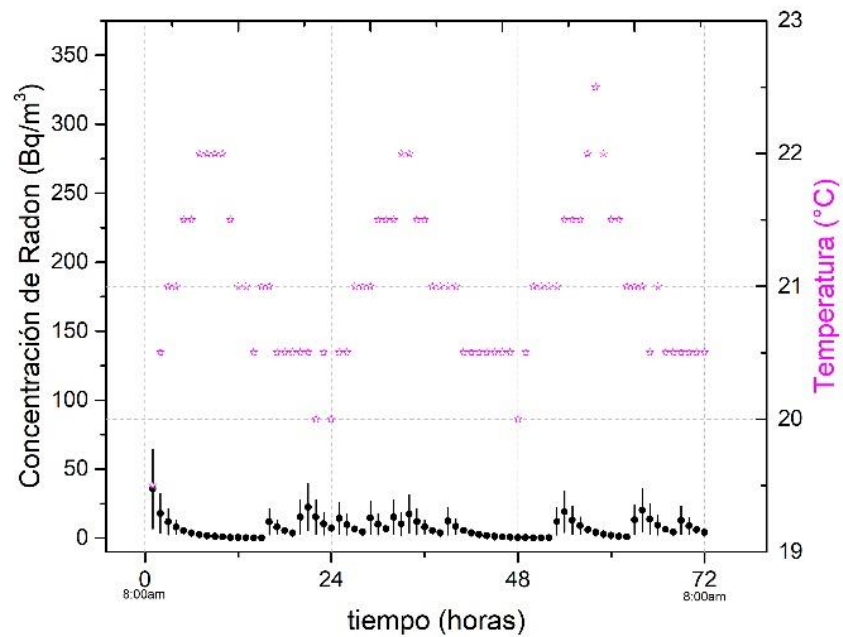


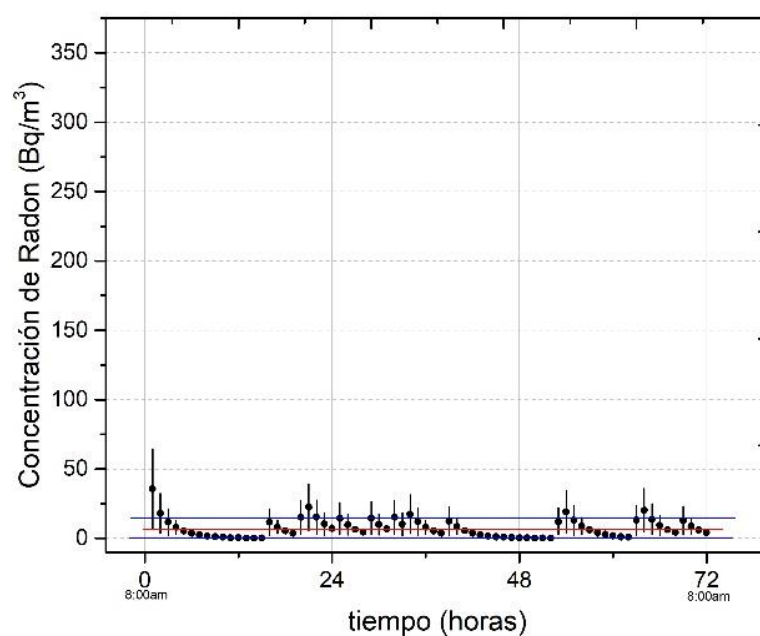


Gráfica 25-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Licto

Realizado por: Santillán, C. 2018

4.4.19. Unidad Educativa Santo Tomás Apóstol



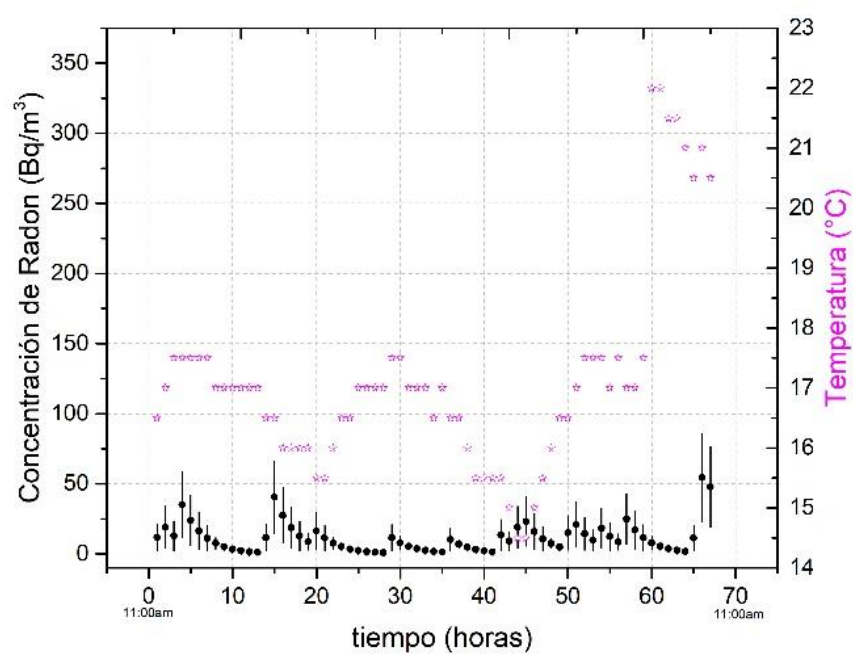


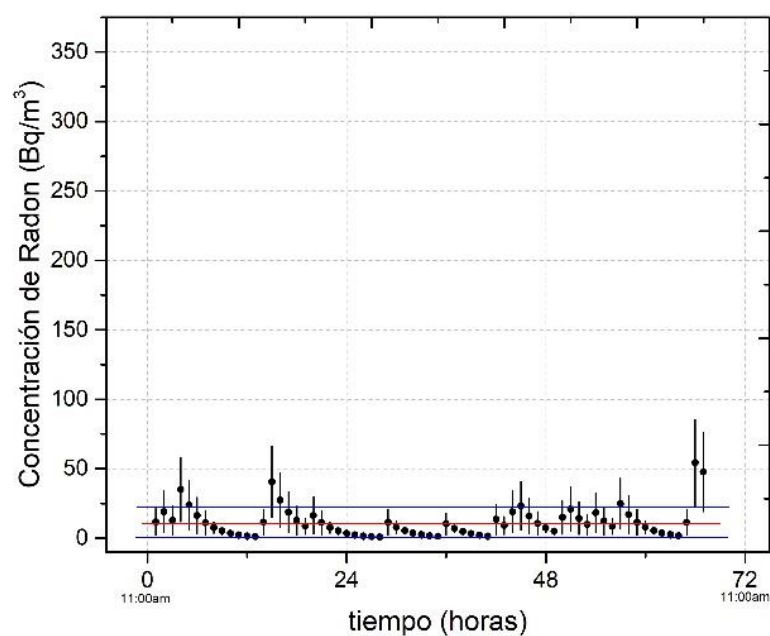
Gráfica 26-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas

²²²Rn en la UE Santo Tomás Apóstol

Realizado por: Santillán, C. 2018

4.4.20. Unidad Educativa Combatientes de Tapi

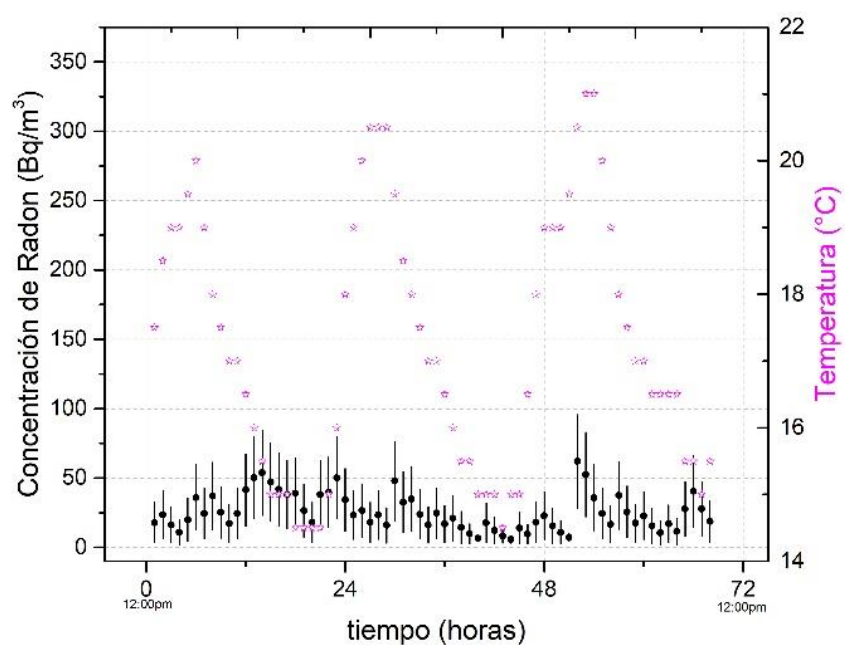


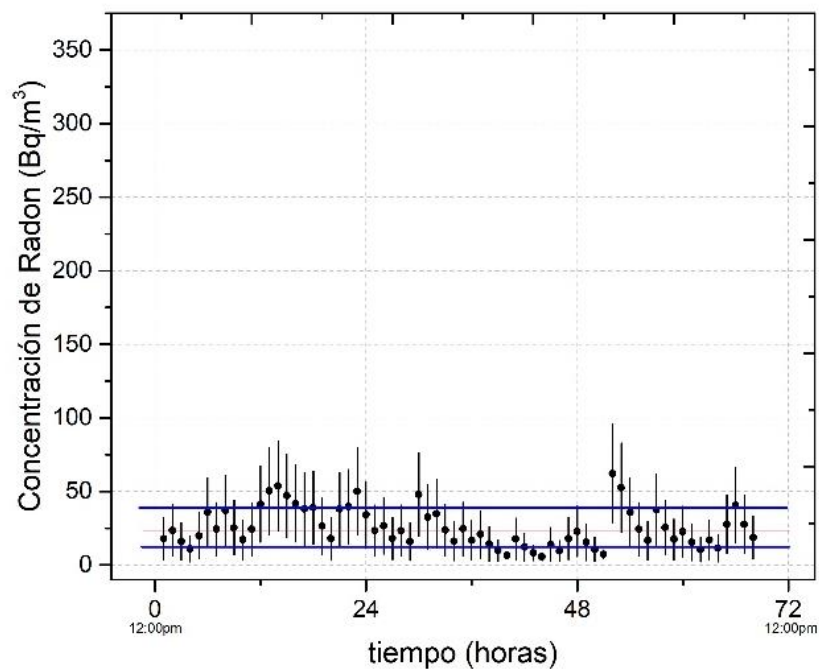


Gráfica 27-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Combatientes de Tapi

Realizado por: Santillán, C. 2018

4.4.21. Unidad Educativa Leopoldo Freire

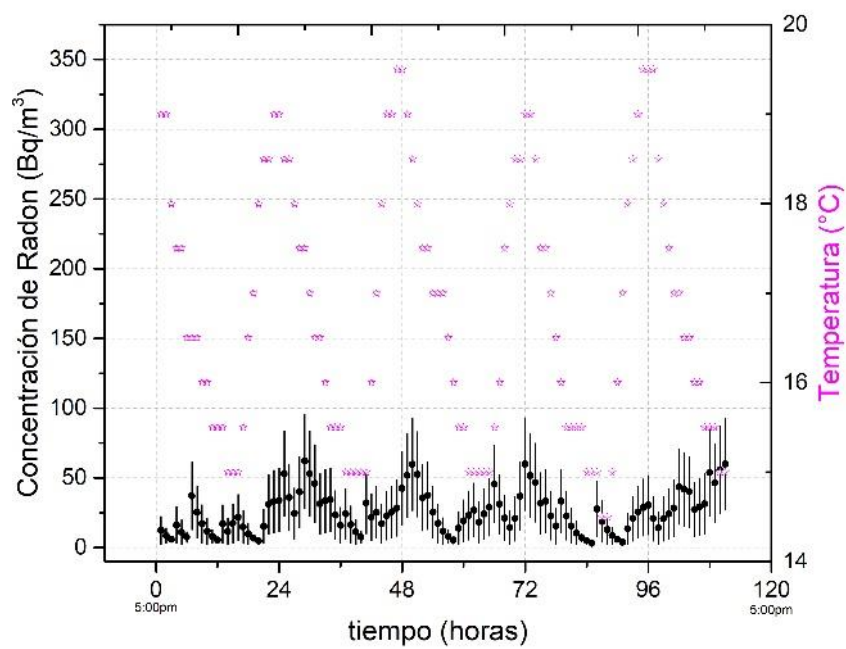


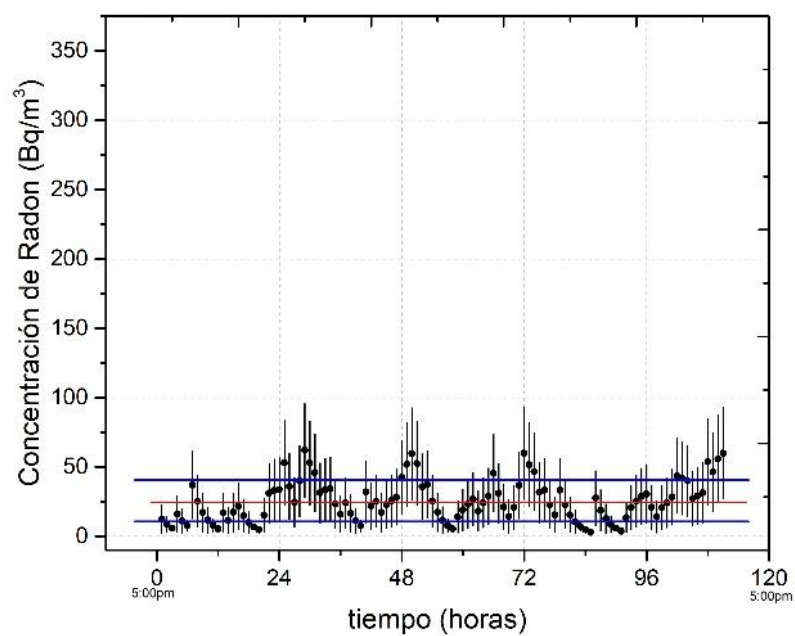


Gráfica 28-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Leopoldo Freire

Realizado por: Santillán, C. 2018

4.4.22. Unidad Educativa Mercedes Amelia Gallegos



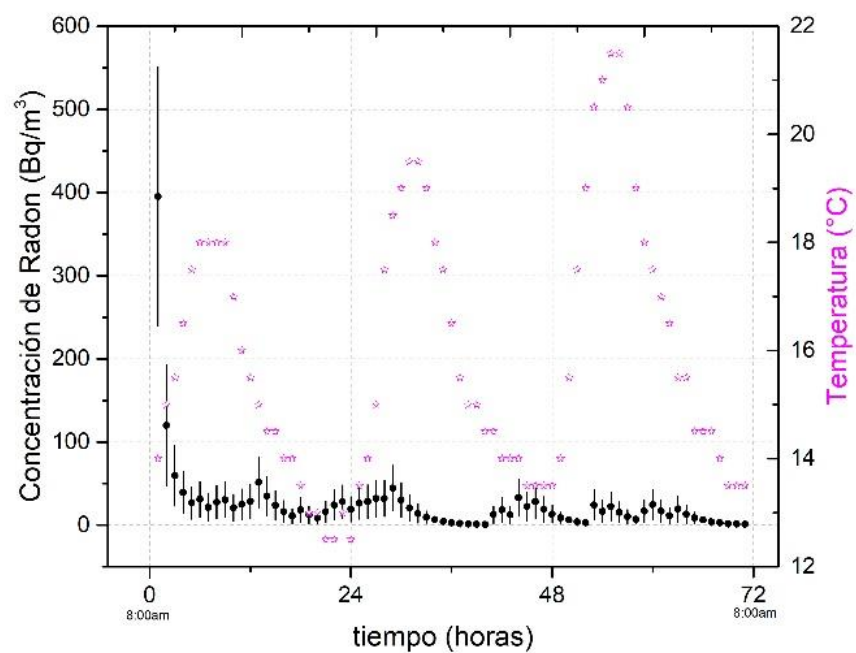


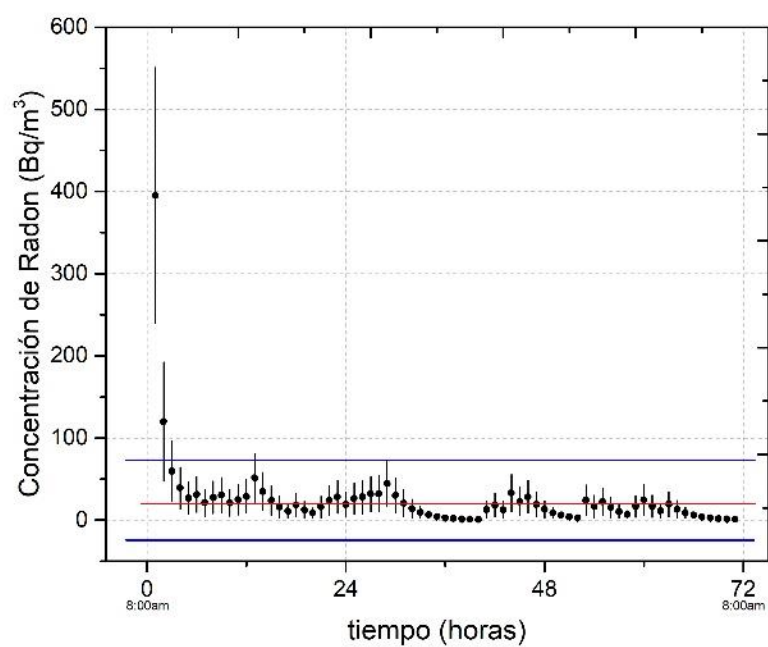
Gráfica 29-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas

^{222}Rn en la UE Mercedes Amelia Gallegos

Realizado por: Santillán, C. 2018

4.4.23. Unidad Educativa Manuel Chili

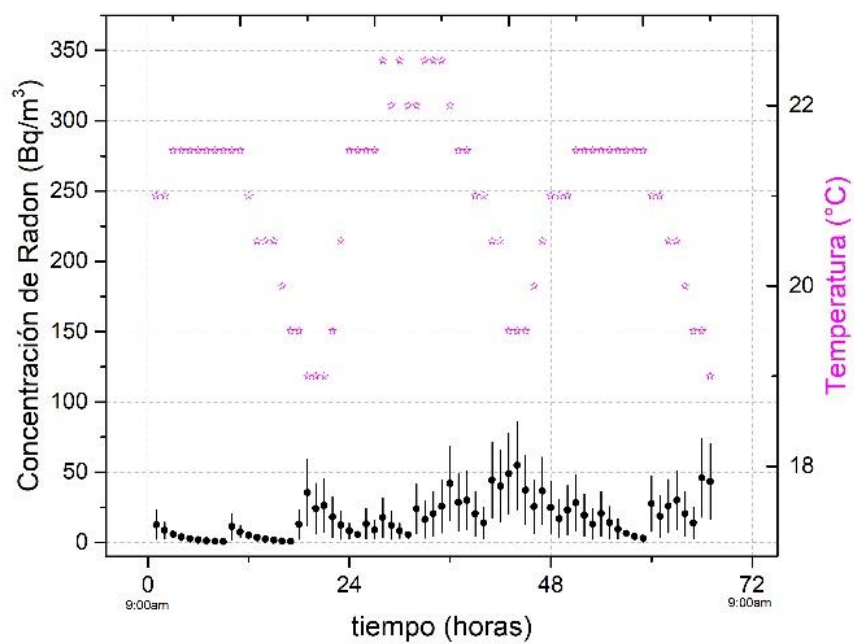


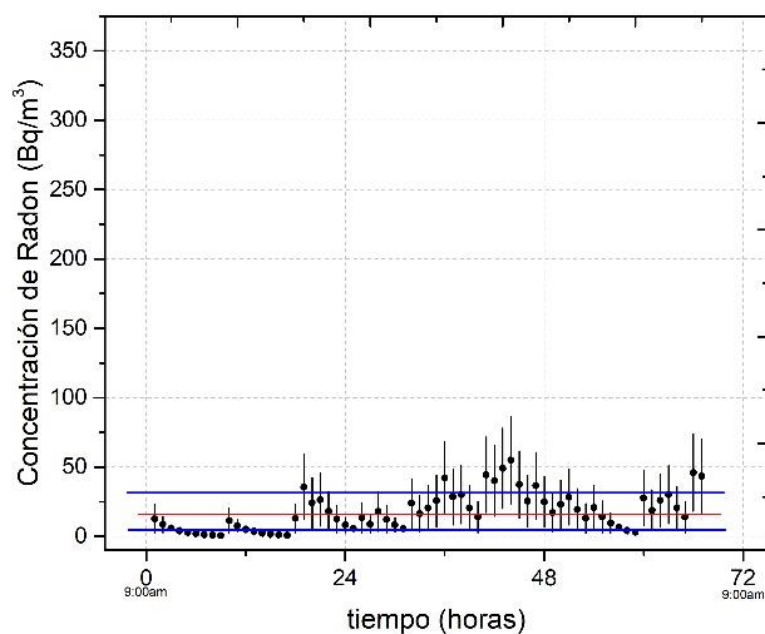


Gráfica 30-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas ^{222}Rn en la UE Manuel Chili

Realizado por: Santillán, C. 2018

4.4.24. Unidad Educativa Intercultural Bilingüe Shiry Cacha



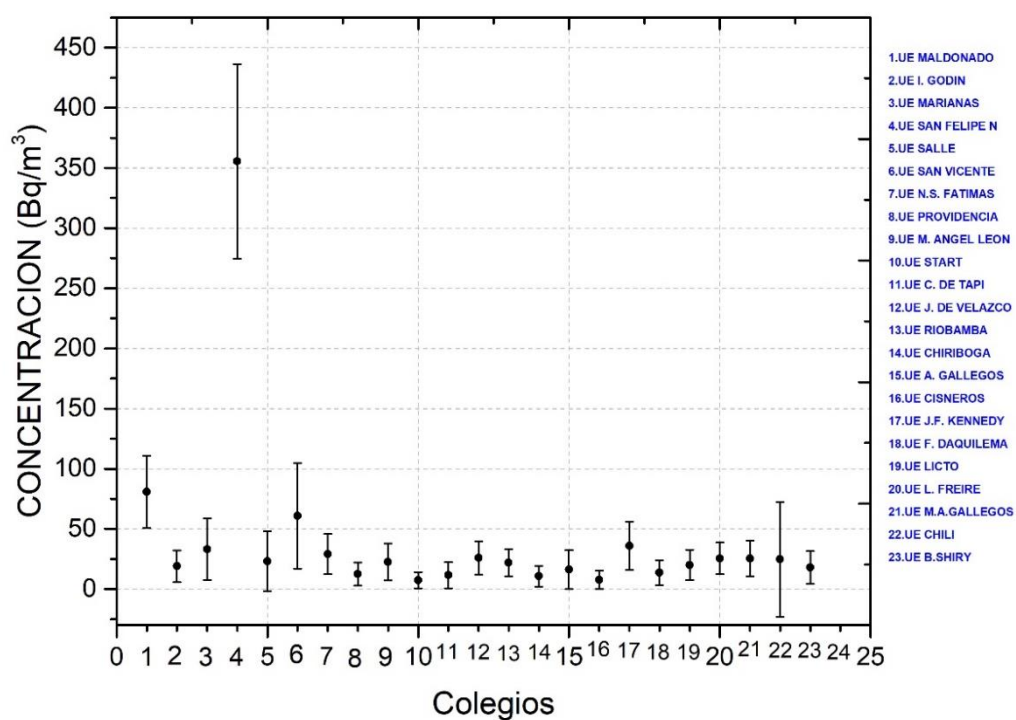


Gráfica 31-4: Variabilidad de los datos de concentración de gas

^{222}Rn en la UE Bilingüe Shiry Cacha

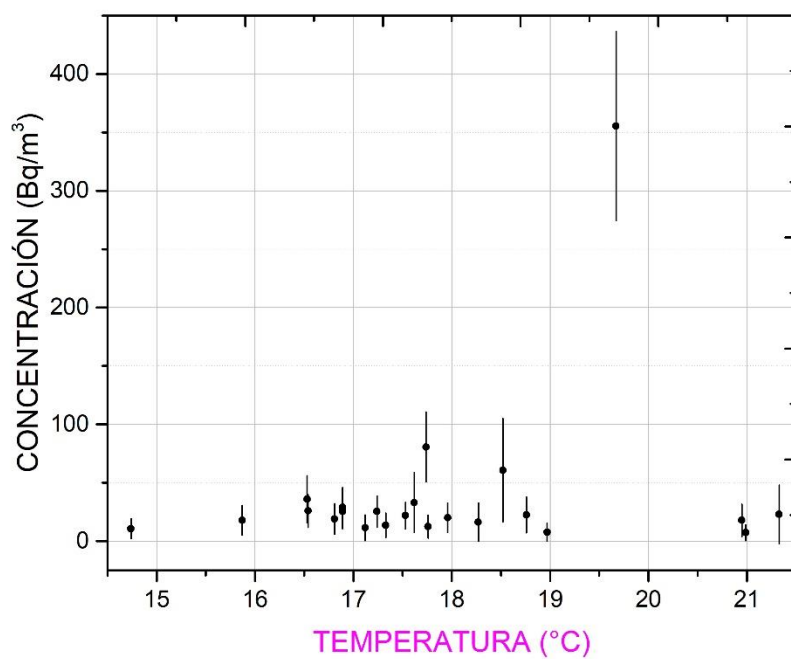
Realizado por: Santillán, C. 2018

Los promedios de las concentraciones de radón de todas las Unidades Educativas tanto de infraestructura antigua y moderna del Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba se presentan en la gráfica 24-4. En la gráfica 25-4 se observa el promedio de las concentraciones de radón con respecto a la temperatura de las Unidades Educativas antiguas y modernas del Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba



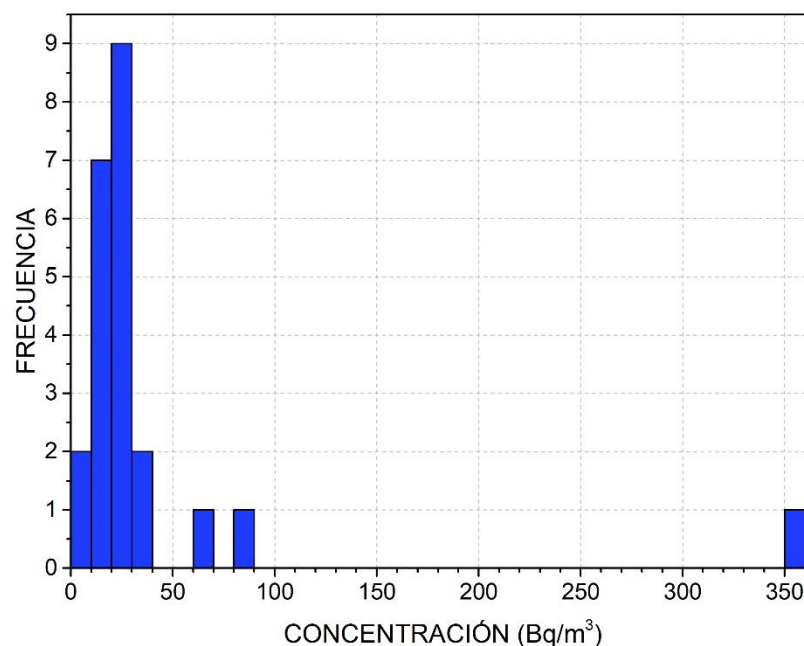
Gráfica 324-4: Concentración de gas ^{222}Rn en las Unidades Educativas del Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba

Realizado por: Santillán, C. 2018



Gráfica 335-4: Variación de la Temperatura en las Unidades Educativas del Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba

Realizado por: Santillán, C. 2018



Gráfica 346-4: Distribución de la Concentración de Radón en las Unidades Educativas del Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba

Realizado por: Santillán, C. 2018

4.5. Tabla de la dosis equivalente anual por inhalación de radón (^{222}Rn)

Utilizando el valor medio de la concentración de actividad de radón, un factor de equilibrio equivalente a 0.4, el coeficiente de transferencia 10^{-4} y el factor de conversión $9 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bqm}^{-3}\text{h}$ se obtuvo una dosis efectiva debida a la inhalación de radón para cada una de las unidades Educativas desde la mayor a la menor, expresadas en la Tabla 3-4:

La dosis efectiva evaluada por año debido a la inhalación de radón (UNSCEAR, 1988: pp. 77) es:

$$H = C_{Rn} * F * O * DCF \quad (1)$$

Tabla 5-4: Dosis efectiva anual por inhalación de radón (^{222}Rn) de las U.E con infraestructura antigua Distrito Chambo-Riobamba

UNIDADES EDUCATIVAS	Dosis efectiva por inhalación de radón (msv/año)	Error absoluto	Porcentaje %
U.E SAN FELIPE NERI	2,550	0,0452	1,771
U.E PEDRO VICENTE MALDONADO	0,580	0,0169	2,911

U.E SAN VICENTE DE PAUL	0,440	0,0247	5,623
U.E JOHN F. KENNEDY	0,259	0,0173	6,68
U.E SANTA MARIANA DE JESUS	0,240	0,0152	6,354
U.E NUESTRA SEÑORA DE FÁTIMA	0,208	0,0094	4,497
U.E JUAN DE VELASCO	0,187	0,0102	5,464
U.E LA SALLE	0,170	0,0123	7,238
U.E MIGUEL ANGEL LEON PONTON	0,166	0,0083	4,992
U.E RIOBAMBA	0,158	0,0095	6,010
U.E ISABEL DE GODIN	0,140	0,0074	5,307
U.E LA PROVIDENCIA	0,094	0,0079	8,494
U.E CAPTÁN EDMUNDO CHIRIBOGA	0,079	0,0066	8,321
U.E CARLOS CISNEROS	0,058	0,0057	9,906

Realizado por: Santillán, C. 2018

Tabla 6-4: Dosis efectiva anual por inhalación de radón (^{222}Rn) de las U.E con infraestructura moderna Distrito Chambo-Riobamba

UNIDADES EDUCATIVAS	Dosis efectiva por inhalación de radón (msv/año)	Error absoluto	Porcentaje %
U.E MERCEDES AMELIA GALLEGOS	0,115	0,010	0,116
U.E "LEOPOLDO FREIRE"	0,18	0,012	0,207
U.E MANUEL CHILI	0,178	0,041	0,727
U.E LICTO	0,144	0,001	0,011
U.E.I.B SHIRY CACHA	0,18	0,012	0,217
U.E AMELIA GALLEGOS DIAZ	0,115	0,014	0,159
U.E FERNANDO DAQUILEMA	0,1008	0,007	0,074
U.E COMBATIENTES DE TAPI	0,086	0,010	0,082
U.E SANTO TOMÁS APÓSTOL	0,0504	0,006	0,029

Realizado por: Santillán, C. 201

CONCLUSIONES

1. La concentración promedio del radón en las Unidades Educativas del Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba varía entre 7.4 y 355,5 Bq/m³ con una media aritmética de 39 Bq/m³, desviación estándar de 71 Bq/m³, una media geométrica de 24 Bq/m³, desviación estándar geométrica de 2 Bq/m³, una media ponderada de 87 Bq/m³ y una desviación estándar ponderada de 4 Bq/m³.
2. Las 23 Unidades Educativas del Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba analizadas utilizando medidas cortas continuas (4-8 días) muestran una marcada variabilidad “día noche” de la concentración de radón para las U.E de infraestructura antigua, mientras que para las U.E de infraestructura moderna existe una variabilidad menos marcada. Esto está relacionado con la temperatura y con la variación de la tasa de ventilación.
3. Veinte y dos de las Unidades Educativas del Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba analizadas muestran una concentración menor a 148 Bq/m³ (límite máximo establecido por la EPA), solamente la U.E “San Felipe Neri” sobrepasa este límite y también sobrepasa el límite establecido por la EURATOM para edificios nuevos. (300 Bq/m³).
4. La dosis equivalente promedio debida a la inhalación de radón es 0,2 mSv/año en las U.E de las Unidades Educativas del Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba a excepción de la U.E “San Felipe Neri” que es 2.55 mSv/año.
5. Se elaboró un mapa donde se indican los puntos en donde se ubican las Unidades Educativas del Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba que muestran su concentración de radón promedio. (Ver Anexo E, F, G, H)

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda ampliar la zona de estudio para encontrar la concentración promedio de radón en la Provincia de Chimborazo
2. Se recomienda realizar un estudio complementario para determinar la causa de la alta concentración de radón en la U.E “San Felipe Neri”.
3. Para proceder con ello que dicta la regulación internacional, se debe realizar un monitoreo de un año o por lo menos uno en cada estación, en nuestro caso, al estar en la línea ecuatorial, se debe realizar una medida en la época más y menos lluviosa para confirmar el valor medio anual de concentración. Además, se debe encontrar el origen del gas radón, el cual puede provenir del suelo, agua o material de construcción.
4. Tomando en cuenta la dosis calculada en la U.E “San Felipe Neri”, si la comparamos con los límites establecidos por la autoridad reguladora competente Nacional, se debe indicar que la dosis efectiva total debido a exposición natural está bordeando el límite superior impuesto. Así que en el caso de las personas que usan el Teatro se sometan a una exposición de radiaciones ionizantes por razones médicas (ej. Placa de rayos X) u otros motivos, superará el límite impuesto por la legislación ecuatoriana.

BIBLIOGRAFÍA

Arnaud, M.I., López, F.O. Y Oliveira, A.A. *Mediciones de gas radón en el interior de viviendas de la Republica de Argentina*. Canoba, A.C, 1998, ARN, págs. 29-45.

ARPANSA. ‘‘Radiation Health & Safety Advisory Council for the CEO of ARPANSA’’, *Naturally-Occurring Radioactive Material (NORM) in Australia: Issues for Discussion.*, Vol. II, 10(2005) , págs. 118-138.

BAEZA A., et.al. *Informacion general sobre el gas radon* , Indoor radon levels in buildings in the Autonomous Community of Extremadura (Spain),2003, págs. 263-268.

BEIR-VI. *Health Effects of Exposure to Radon: BEIR VI*, National Research Council,1999, págs. 1-487.

Brogioli, Dorian Y Vailati, Alberto. *Diffusive mass transfer by nonequilibrium fluctuations: Fick’s law revisited*. 2000, Physical Review, Vol. 63, págs. 2-3.

Lenntech. B.V [En línea] 30 de 05 de 2017.
<http://www.lenntech.es/periodica/elementos/rn.htm#ixzz4ibgnzXvy>.

CANOBA, et.al. *Indoor radon measurements in six Latin American countries*. 4, 2000, Geofísica Internacional, Vol. 41, págs. 453-457.

Masahiro Y Kobayashi, et.al. *Vertical distribution of outdoor radon and thoron in japan using a new discriminative dosimeter*. 1994. 263, SCIELO, Vol. I, págs. 385-391.

Dorn, Ernst. *Über die von radioaktiven Substanzen ausgesandte Emanation*, 2007, Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg, Vol. 23, págs. 1-15.

Ministerio de Educación. Informe de Rendición de cuentas Distrito de Educación 06D01 Chambo-Riobamba . [En línea] Enero-Diciembre de 2015. [Citado el: 30 de 7 de 2018.] <https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/02/06D01.pdf>.

EDUCANET. Chambo Alcaldia Red Agua Potable. [En línea] 2017. [Citado el: 05 de 08 de 2018.] <https://www.gobiernodechambo.gob.ec/chambo/index.php/343-agua-potable-cambio>.

EMAPAR. 2017. Ilustre Municipio De Riobamba. [En línea] 2017. [Citado el: 5 de 08 de 2018.] <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/3369salvador.pdf>.

Felmlee, et.al. *Radium and uranium concentrations and associated hydrogeochemistry in ground water in southwestern Pueblo County, Colorado.* 1979. 54, Colorado : s.n, págs. 112-116.

GAD Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia Cacha. [En línea] 05 de 2015. [Citado el: 05 de 08 de 2018.] http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0660820590001_DIAGNOSTICO%20PARROQUIA%20CACHA%202015%20_15-05-2015_23-46-38.pdf.

Guevara, Carmen Isabel. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.*, Gobierno autonomo pesentralizado parroquial rural Licto, 2015, págs. 2-5.

Harley, et.al. *Indoor and outdoor 222Rn measurements in bangkok and chiang mai, thailand,* Cognizant Communication Corporation, 2000. 1-4, Vol. VII, págs. 491-495.

ICRP-50. *Lung Cancer Risk from Exposures to Radon Daughters*, ICRP Publication, 1987. 17, 1, Vol. 1, págs. 22-45.

ICRP-65. *Protection Against Radon-222 at Home and at Work.*, ICRP Publications, 1993, 23 Vol. 2, págs. 4-43.

Keller G1, et.al. *Radon permeability and radon exhalation of building materials*, 2001, ELSEVIER, págs. 1-8.

Morawska, L. Y Phillips, C.R. *Determination of the radon surface emanation rate from laboratory emanation data*, Canadá , 1991, 106, Elsevier Science Publishers , Vol. III, págs. 254-256.

M. Durcik, et.al. *Radon Risk Assessment in Slovak Kindergartens.* 1997. 3, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 71, págs. 201-206.

Nuccetelli, C. Y Bochicchio, F. *The Thoron Issue: Monitoring Activities, Measuring Techniques and Dose Conversion Factors*, 1998, 1, Nuclear Technology Publishing, Vol. 71, págs. 59-64.

P.Pereyra, et.al *Mediciones de la concentracion de Radon222 en residencia de Lima*. Lima, Perú : s.n., 13 de Abril de 2014.

Quanfu, Sun., *Main meteorological parameters to influence indoor radon level*. 2002. 51, Journal, Vol. Iii, págs. 120-126.

Environmental impacts of phosphogypsum. **Rutherford, Dudas y Samek. 1994.** 1-2, 1994, Vol. 149, págs. 1-38.

Shane, Lyle. *The Geology of Radon in Kansas*, 2007, Kansas Geological Survey, págs. 2-3.

UNSCEAR. *Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, Report to the General Assembly, with scientific annexe, 1993, United Nations sales publication E.94.IX.2.

UNSCEAR. *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*, Report to the General Assembly, with annexe.. 1988, United Nations sales publication E.88.IX.7.

UNSCEAR. *Sources and Effects of Ionizing Radiation*, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000, Vols. I-II, pág. 497.

Vertes, et.al. *Handbook of Nuclear chemistry. Basic of nuclear Science*. 2011, Germany : Springer, págs. 300-302.

